

ANÁLISIS, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR BASADO EN LÓGICA
DIFUSA ORIENTADO A LA EVALUACIÓN DOCENTE DE INSTITUCIONES DE
ORDEN SUPERIOR

INGENIERO JUAN DIEGO CASTANO VILLADA

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERIAS ELECTRICA, ELECTRONICA, FISICA Y
CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN
PROGRAMA DE INGENIERIA DE SISTEMAS Y COMPUTACION
PEREIRA 2018

ANÁLISIS, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR BASADO EN LÓGICA
DIFUSA ORIENTADO A LA EVALUACIÓN DOCENTE DE INSTITUCIONES DE
ORDEN SUPERIOR

INGENIERO JUAN DIEGO CASTANO VILLADA

Proyecto de grado para optar por el título de Magister en ingeniería de sistemas

DIRECTOR DEL PROYECTO DE GRADO:

Jorge Iván Ríos Patiño

Ingeniero Industrial

Mg. Ingeniería informática

Mg. Ingeniería del Conocimiento

PhD (c) Ingeniería informática

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, FÍSICA Y
CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN
PEREIRA 2018

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN.....	11
2. INTRODUCCIÓN.....	12
3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	14
4. JUSTIFICACIÓN.....	15
5. OBJETIVOS.....	17
5.1. OBJETIVO GENERAL	17
5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	17
6. MARCO REFERENCIAL	18
6.1. ANTECEDENTES	18
6.2. REFERENCIA INSTITUCIONAL.....	18
7. MARCO TEORICO	24
7.1. LÓGICA DIFUSA.....	24
7.1.1. Conjuntos difusos	25
7.1.2. Funciones de pertenencia	26
7.1.3. Variables lingüísticas	31
7.1.4. Reglas difusas	31
7.1.5. Sistema experto difuso	32
7.2. HERRAMIENTAS DE DESARROLLO	38
7.2.1. FuzzyTech	38
7.2.2. JFuzzyLogic.....	40
7.2.3. ToolboxFuzzyLogic.....	42
8. DISEÑO METODOLOGICO PRELIMINAR.....	47
8.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	47
8.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	47
8.3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	47
8.4. METODOLOGÍA	47
9. ESQUEMA TEMÁTICO	49
9.1. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN	49
9.1.1. Restricciones del sistema	51
9.2. DEFINICIÓN DE VARIABLES LINGÜISTICAS	52

9.2.1.	Variables de entrada.....	52
9.2.2.	Variables de salida	54
9.2.3.	Criterio para la prueba y validación del modelo	54
9.3.	DEFINICIÓN DE LAS FUNCIONES DE PERTENENCIA	55
9.4.	DEFINICIÓN DE LA ESCALA EN EL UNIVERSO DE DISCUSIÓN	55
9.4.1.	Conjuntos difusos para variables de entrada.....	55
9.4.2.	Conjuntos difusos para variables de salida	59
9.5.	DEFINICION DE LA BASE DE CONOCIMIENTO Y SUS REGLAS DE INFERENCIA	61
9.6.	DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL MODELO DIFUSO	63
9.7.	SIMULACIÓN DEL MODELO Y ANALISIS DE RESULTADOS	68
9.8.	EVALUACIÓN Y ANALISIS DE RESULTADOS	97
10.	CONCLUSIONES.....	100
11.	RECOMENDACIONES	101
12.	BIBLIOGRAFIA.....	102
11.	ANEXOS	104

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - Funciones de pertenencia de conjunto clásico (izquierda) y difuso (derecha) para estatura_media. (AUTOR)	26
Ilustración 2 - Grafica de función de saturación.	27
Ilustración 3 - Grafica de función de hombro.....	28
Ilustración 4 – Gráfica de función triangular.	28
Ilustración 5 – Gráfica de la función trapezoidal.....	29
Ilustración 6 – Gráfica de la función S.....	30
Ilustración 7 – Gráfica de función singleton.....	30
Ilustración 8 – Estructura de un controlador difuso [16].	32
Ilustración 9 – Áreas sobrepuestas en una variable de salida resultado del proceso de desfuzzyficación.	34
Ilustración 10 – Área total a la que se le aplicará el método de centroide.....	35
Ilustración 11 – Centroide del Área	35
Ilustración 12 – Corte en la variable velocidad con el grado de pertenencia respectivo.....	36
Ilustración 13 – Método del promedio ponderado.	36
Ilustración 14 – Principio de máxima pertenencia.	37
Ilustración 15 – Máximo miembro significativo.	38
Ilustración 16 - Entorno visual FuzzyTech. [23].....	40
Ilustración 17 – Entorno visual JFuzzyLogic [24].....	41
Ilustración 18 – Entorno visual editor FIS.....	42
Ilustración 19 – Entorno visual editor de funciones de pertenencia.....	43
Ilustración 20 – Entorno visual del editor de reglas.	44
Ilustración 21 – Visualizador de reglas.....	45
Ilustración 22 – Visualizador de superficie.	46
Ilustración 23 – Metodología del proyecto.....	48
Ilustración 24 – Sistema difuso general.....	50
Ilustración 25 – Ilustración de sistema difuso general más sistemas difusos específicos.	51
Ilustración 26 – Gráfica de función triangular.	55
Ilustración 27 – Función de pertenencia etiqueta lingüística Deficiente, rango 0 – 2 (AUTOR)	56
Ilustración 28 – Función de pertenencia etiqueta lingüística Aceptable, rango 1 – 3 (AUTOR)	56
Ilustración 29 – Función de pertenencia etiqueta lingüística Bueno, rango 2 - 4 (AUTOR)	57
Ilustración 30 – Función de pertenencia etiqueta lingüística Sobresaliente, rango 3 – 5 (AUTOR)	57
Ilustración 31 – Función de pertenencia etiqueta lingüística Excelente, rango 4 – 5 (AUTOR)	58

Ilustración 32 - Función de pertenencia etiqueta lingüística Deficiente (Modelo general), rango 0 – 2 (AUTOR)	58
Ilustración 33 - Función de pertenencia etiqueta lingüística Bueno (Modelo general), rango 2 - 3 (AUTOR)	59
Ilustración 34 - Función de pertenencia etiqueta lingüística Excelente (Modelo general), rango 4 – 6 (AUTOR)	59
Ilustración 35 - Función de pertenencia etiqueta lingüística Deficiente (salida modelo general), rango 0 – 2 (AUTOR)	60
Ilustración 36 - Función de pertenencia etiqueta lingüística Bueno (salida modelo general), rango 2 – 4 (AUTOR)	60
Ilustración 37 - Función de pertenencia etiqueta lingüística Excelente (salida modelo general), rango 4 - 6 (AUTOR)	61
Ilustración 38 – Vista de resultados del cuestionario de evaluación a estudiantes.	64
Ilustración 39 - Vista de resultados del cuestionario de evaluación a jefe inmediato y dos profesores del área.	65
Ilustración 40 - Vista de resultados del cuestionario de evaluación a consejo de facultad.....	66
Ilustración 41 - Vista principal del sistema de evaluación docente.....	67
Ilustración 42 – Panel de configuración de los modelos difusos.	68
Ilustración 43 – Vista de cuestionario de estudiantes con los valores de la prueba.	70
Ilustración 44 – Ecuaciones de las funciones de pertenencia de las etiquetas lingüísticas de las variables de entrada.....	72
Ilustración 45 – Resultado de las reglas estimuladas para el modelo difuso de estudiantes en la etiqueta lingüística “Excelente”	75
Ilustración 46 – Resultado de las reglas estimuladas para el modelo difuso de estudiantes en la etiqueta lingüística “Bueno”	76
Ilustración 47 – Superposición de las gráficas resultantes en el modelo difuso de estudiantes.	77
Ilustración 48 - Vista de cuestionario de profesores con los valores de la prueba	79
Ilustración 49 - Resultado de las reglas estimuladas para el modelo difuso de profesores en la etiqueta lingüística “Bueno”.	81
Ilustración 50 - Superposición de las gráficas resultantes en el modelo difuso de profesores.	81
Ilustración 51 - Vista de cuestionario de consejo de facultad con los valores de la prueba	83
Ilustración 52 - Resultado de las reglas estimuladas para el modelo difuso de consejo en la etiqueta lingüística “Excelente”	85
Ilustración 53 - Resultado de las reglas estimuladas para el modelo difuso de consejo en la etiqueta lingüística “Bueno”.	85
Ilustración 54 - Superposición de las gráficas resultantes en el modelo difuso de consejo.	86

Ilustración 55 - Ecuaciones de las funciones de pertenencia de las etiquetas lingüísticas de las variables de entrada del modelo general.	88
Ilustración 56 - Resultado de las reglas estimuladas para el modelo difuso general en la etiqueta lingüística “Bueno”.	89
Ilustración 57 - Resultado de las reglas estimuladas para el modelo difuso general en la etiqueta lingüística “Excelente”.	90
Ilustración 58 – Superposición de las gráficas resultantes en el modelo difuso general.	91
Ilustración 59 - Resultado de las reglas estimuladas para el modelo difuso general en la etiqueta lingüística “Bueno” con el set de reglas número 2.	94
Ilustración 60 - Resultado de las reglas estimuladas para el modelo difuso general en la etiqueta lingüística “Excelente” con el set de reglas número 2.	95
Ilustración 61 – Superposición de las gráficas resultantes en el modelo difuso general para el set de reglas número 2.	96
Ilustración 62 – Evaluación del docente con la base de conocimiento del set de reglas 1.	97
Ilustración 63 - Evaluación del docente con la base de conocimiento del set de reglas 2.	98

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Definición de variables de entrada para los modelos del sistema difuso.</i>	53
Tabla 2. Definición de etiquetas lingüísticas para las variables de entrada de los modelos del sistema difuso.	54
Tabla 3. Definición de variables de salida para los modelos del sistema difuso. ..	54
Tabla 4. Definición de etiquetas lingüísticas para las variables de salida de los modelos del sistema difuso.	54
Tabla 5 - Valores cuestionario para el modelo difuso de estudiantes.	70
Tabla 6 - Estimulación de reglas para el modelo difuso de estudiantes.	72
Tabla 7 - Grados de pertenencia a los conjuntos difusos para el modelo de estudiantes.	74
Tabla 8 – Valores cuestionario modelo difuso profesores.	78
Tabla 9 - Estimulación de reglas para el modelo difuso de profesores.	80
Tabla 10 - Grados de pertenencia a los conjuntos difusos para el modelo de profesores.	80
Tabla 11 - Valores cuestionario modelo difuso consejo.	82
Tabla 12 - Estimulación de reglas para el modelo difuso de consejo de facultad.	84
Tabla 13 - Grados de pertenencia a los conjuntos difusos para el modelo de consejo de facultad.	84
Tabla 14 - Valores cuestionario modelo general.	87
Tabla 15 - Estimulación de reglas para el modelo difuso general.	88
Tabla 16 - Grados de pertenencia a los conjuntos difusos para el modelo general.	89
Tabla 17 - Valores cuestionario modelo general set de reglas número 2.	92
Tabla 18 - Estimulación de reglas para el modelo difuso general con la base de conocimiento del set de reglas número 2.	93
Tabla 19 - Grados de pertenencia a los conjuntos difusos para el modelo general con la base de conocimiento del set de reglas número 2.	93
Tabla 20 – Resultados para el set de reglas número uno.	98
Tabla 21 – Resultado set de reglas número dos.	99

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 - Cuestionario presentado a los estudiantes para la evaluación docente.	104
Anexo 2 - Cuestionario presentado al jefe inmediato y a dos profesores del área para la evaluación docente.....	105
Anexo 3 - Cuestionario presentado al consejo de facultad para la evaluación docente.	106
Anexo 4 - Base de conocimiento para el modelo del sistema difuso “Modelo estudiantes”.....	111
Anexo 5 - Base de conocimiento para el modelo del sistema difuso “Modelo profesores”	114
Anexo 6 - Base de conocimiento para el modelo del sistema difuso “Modelo consejo”.....	118
Anexo 7 - Base de conocimiento para el modelo del sistema difuso “Modelo general”	119
Anexo 8 - Base de conocimiento para el modelo del sistema difuso “Modelo general” para el set 2 de reglas.....	120

1. RESUMEN

La evaluación docente en una institución de orden superior es el método por medio del cual se garantiza la calidad de un docente y sobre todo que su labor este acorde con los objetivos de cada universidad. Dicho proceso es de gran importancia y por lo tanto la objetividad, eficiencia y sobre todo la imparcialidad son aspectos vitales en dicha evaluación. Teniendo en cuenta el carácter subjetivo de los aspectos a evaluar de un profesor, un modelo basado en lógica difusa para dicho fin constituye una herramienta poderosa y de fácil uso para el objetivo del proceso.

2. INTRODUCCIÓN

Uno de los aspectos más importantes para que una institución brinde una educación de calidad, más allá de la infraestructura que posea, es la calidad de sus docentes. Una universidad sin profesores competentes, dedicados y que tengan la pasión por enseñar y transmitir conocimiento es una universidad sin calidad.

Para poseer dichos profesores y saber que se cuenta con las personas ideales se deben tener en cuenta diferentes aspectos y por lo tanto estos deben ser evaluados. Estos aspectos se tratan de características cualitativas que describen el comportamiento y las aptitudes de un profesor y que según sea la institución, pueden presentar una mayor importancia unos que otros.

Características como la “metodología de enseñanza” o “la participación en actividades extra curriculares” presentan un grado de subjetividad muy elevado que convierte a un sistema de evaluación docente muy complejo de cuantificar y entregar un resultado preciso.

Adicionalmente, la misma naturaleza cambiante de las prioridades de una universidad (sea por decisiones políticas, sociales o tecnológicas) convierte a un modelo de evaluación obsoleto en unos pocos años. Teniendo que invertir de nuevo tiempo y recursos en replantear cuales son las nuevas cualidades que se deben buscar en un profesor ideal.

Por tal motivo, este trabajo plantea un modelo que permita, no solo realizar este proceso partiendo de los conceptos básicos de la lógica difusa, sino que en adición desarrolla una base de conocimiento dinámica, la cual permita adaptarse con facilidad a las necesidades del entorno o de la institución.

En el presente trabajo se iniciará con un recorrido a través del modelo actual de evaluación docente de la Universidad Tecnológica de Pereira comparado con el modelo usado en 2 universidades públicas entre las mejores del país: la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de Antioquia. Seguidamente se abordará la definición formal de la lógica difusa y herramientas de desarrollo con las cuales se puede trabajar.

A continuación se muestra cual es el modelo que se ha definido para la solución del problema teniendo en cuenta las etiquetas lingüísticas, funciones de pertenencia, base de conocimiento y demás elementos que un modelo difuso debe presentar.

Para finalizar, se realiza una prueba de concepto con el modelo desarrollado y se presentan los resultados obtenidos y se procede a analizarlos y dar una conclusión final.

3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente la metodología para la evaluación docente de los profesores de la Universidad Tecnológica de Pereira presenta un alto grado de subjetividad. Todos los criterios que son evaluados en ella son de carácter cualitativo y por consiguiente las respuestas de los evaluadores se condensan netamente en la percepción que se tenga del docente en dichos criterios (Excelente, sobresaliente, aceptable, etc.) dificultando la cuantificación de los resultados y la toma de decisiones a través de la lógica tradicional.

Adicionalmente, 2 de los tres formularios utilizados para la evaluación son diligenciados y calificados por personas cercanas al docente a examinar. Compañeros de área, de trabajo y en algunas ocasiones amigos cercanos. Este factor inyecta cierta parcialidad o sesgo a la hora de hacer una calificación objetiva y transparente.

Por lo tanto es importante dotar al modelo de un mecanismo capaz de brindar dicha imparcialidad, objetivismo y transparencia del cual carece. Esto con ayuda de un sistema que sea capaz de analizar las notas obtenidas por el profesor en cada formulario y entregue una calificación final. Este sistema debería basarse en la lógica difusa ya que por su naturaleza, permite trabajar y analizar los factores subjetivos con mayor facilidad y permite así, a través de una base de conocimiento, entregar un resultado acertado.

Por último, se debe tener en cuenta que no basta con construir un sistema para abarcar solamente el modelo actual de evaluación. La naturaleza de la calidad de una universidad se basa en adaptarse a las necesidades de la sociedad para entregar los profesionales más aptos para las competencias que son requeridas. Por consiguiente, constantemente los estándares de calidad en una institución de orden superior cambian y los criterios para determinar la pertinencia de un docente pueden variar. Así que el presente sistema debe permitir adaptarse fácilmente al cambio, permitiendo una modificación en su base de conocimiento cuando sea requerido y ofreciendo al modelo de evaluación una cualidad dinámica.

4. JUSTIFICACIÓN

Para la Universidad Tecnológica de Pereira, según el estatuto docente, la docencia es la base para brindar una educación de calidad y esto radica en que son los profesores los que transmiten el amor y el respeto por los conocimientos que imparten [1]. Por eso, es fundamental para la institución velar en todo momento por que el docente que sirve una asignatura sea el idóneo. Para ello se necesita una persona con excelentes conocimientos técnicos y teóricos acerca del campo donde se desempeña sin olvidar en ningún momento la parte humanística que debe caracterizar a todo docente de la UTP.

La manera por la cual la universidad concluye que un docente es apto o no, para dar o seguir impartiendo cátedra es a través de un sistema de evaluación docente, el cual califica aspectos tanto técnicos como humanos del docente en cuestión. Este sistema consta de tres partes: Una valoración por parte de los estudiantes que reciben la clase por el profesor a evaluar, una valoración por parte de su jefe inmediato y 2 profesores del área; y una valoración por parte del consejo de facultad [2].

La valoración por parte de los estudiantes consta de un conjunto de tópicos entre los cuales se tienen en cuenta las relaciones interpersonales, el sistema de evaluación que utilizó el maestro en el transcurso del semestre, la metodología de la materia, la asistencia a clase y horas de consulta; entre otras. Muchos de estos puntos a valorar son criterios subjetivos que conllevan un mayor trabajo a la hora de obtener un valor cuantificado de la valoración del docente por parte de los estudiantes. Aspectos como las relaciones interpersonales o la metodología en las clases del profesor, son atributos muy difíciles de cuantificar, calcular y operar por su naturaleza vaga o borrosa.

Por esta razón es necesaria la implementación de un sistema que vaya más allá de los ponderados y los datos bivaluados entregados por la lógica tradicional. Para tener un mejor manejo de estos criterios no deterministas obteniendo resultados de igual manera concretos pero aprovechando la naturaleza de las variables, se propone el uso de la lógica difusa (o lógica borrosa).

El objetivo principal de la lógica difusa es proporcionar un soporte al razonamiento basado en el lenguaje natural, que se caracteriza por tratarse de un razonamiento de tipo aproximado, que además hace uso de unas proposiciones que a su vez expresan información de carácter impreciso [3].

Adicionalmente, el sistema debería de permitir ser independiente a las competencias, características y aptitudes que la universidad defina para sus docentes. Esto con el fin de facilitar los cambios que se le puedan hacer al proceso por nuevas metodologías y criterios de evaluación según la institución considere mejor para redirigir el enfoque y los objetivos que esta quiera alcanzar.

Por ende, es necesario brindarle al modelo la facilidad de modificar su base de conocimiento según lo requiera la ocasión. Así el comportamiento estático del anterior sistema de evaluación se vería cambiado por un mecanismo más dinámico y fácil de organizar.

Así pues, al sistema de evaluación docente se le dotaría con un mecanismo capaz de trabajar con el amplio abanico de criterios subjetivos del que está compuesto facilitando así el análisis de resultados y la obtención de resultados. Además dejaría atrás su carácter estático permitiendo la modificación de su base de conocimiento a medida que sea requerido. Y finalmente, el sistema obtendría un rumbo cien por ciento imparcial y transparente.

5. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar, diseñar y construir un motor basado en lógica difusa que permita modificar su base de conocimiento teniendo en cuenta el modelo de evaluación docente de la Universidad Tecnológica de Pereira.

5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar un análisis del estado actual de la forma como se lleva a cabo el proceso de evaluación docente de la Universidad Tecnológica de Pereira.
- Realizar una comparación entre el modelo de evaluación utilizado por la Universidad Tecnológica de Pereira contra universidades de la región.
- Definir las variables lingüísticas del proceso de evaluación docente, tanto de entrada como de salida; para la construcción del sistema difuso y además sus respectivos conjuntos borrosos.
- Definir una estructura para las bases de conocimiento la cual se pueda acoplar a las variables lingüísticas del modelo.
- Definir el motor difuso independiente de la base de conocimiento.
- Permitir cambiar las reglas de la base de conocimiento en el sistema sin tener que redefinir las entradas o salidas de él.
- Validar el correcto funcionamiento del motor difuso con dos bases de conocimiento de prueba.

6. MARCO REFERENCIAL

6.1. ANTECEDENTES

El método actual de evaluación docente de la Universidad Tecnológica de Pereira, está basado en promedios y ponderaciones, donde, gracias a un puntaje, se define la idoneidad de un profesor en su cargo. Comprendiendo este aspecto, es importante recalcar que existen, dentro de la valoración al docente por parte de los estudiantes, muchos aspectos de carácter subjetivo que son necesarios para calificar al maestro. Aspectos como las relaciones interpersonales o la metodología en las clases del profesor, son atributos muy difíciles de cuantificar, calcular y operar por su naturaleza vaga o borrosa.

Por esta razón es necesaria la implementación de un sistema que vaya más allá de los ponderados y los datos bivaluados entregados por la lógica tradicional. Para tener un manejo de estos términos y variables subjetivas obteniendo resultados concretos y objetivos es necesario el uso de la lógica difusa (o lógica borrosa).

El objetivo principal de la lógica difusa es proporcionar un soporte al razonamiento basado en el lenguaje natural, que se caracteriza por tratarse de un razonamiento de tipo aproximado, que además hace uso de proposiciones que a su vez expresan información de carácter impreciso [3].

Ahora bien, como fue demostrado en el proyecto de grado de pregrado “Prototipo de un sistema de evaluación docente basado en lógica difusa” presentado en el 2013, aprovechando la naturaleza subjetiva de los tópicos de la evaluación docente, un sistema basado en lógica no es solo posible sino viable, otorgando al proceso la imparcialidad que tanto carece.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que los objetivos de calidad de las instituciones constantemente están cambiando. El rumbo que se le da a una universidad puede ser redefinido y por lo tanto la manera de calificar a sus profesores debe ser redefinida cuando sea necesario. Por lo tanto se debe tener un sistema que pueda manejar esa naturaleza cambiante permitiendo cambiar las reglas con las que se califica a un profesor.

Al permitir tener un sistema con la posibilidad de cambiar su base de conocimiento, el sistema de evaluación docente dejaría de ser un sistema estático y pasara a ser un sistema dinámico con la facultad de cambiar y adaptarse a los nuevos requisitos de calidad que pueda tener una institución.

6.2. REFERENCIA INSTITUCIONAL

El compromiso de la Universidad Tecnológica de Pereira con la excelencia académica requiere el desarrollo de mecanismos que permitan mantener

información continua sobre el progreso alcanzado en la consecución de sus metas institucionales y sobre la efectividad de sus recursos y programas. Dentro de este marco, la evaluación del desempeño docente constituye un proceso vital para el logro de la excelencia académica. La disponibilidad de un personal altamente competente en la disciplina que enseña, dedicado al servicio, comprometido con la institución, sus estudiantes y la consecución de sus objetivos; adicionalmente, ávido de crecer profesionalmente y dispuesto a fortalecerse en los procesos de la enseñanza y del aprendizaje, son elementos indispensables para elevar los niveles de excelencia académica.

La evaluación del personal docente tiene dos objetivos [4]. Por un lado, está la evaluación formativa que persigue el desarrollo continuo del personal que se evalúa, con el fin de ayudarlo a progresar profesionalmente; facilitándole, tanto maximizar sus fortalezas, como reducir sus debilidades, y apoyarle en su esfuerzo por consolidar su carrera dentro de la institución. El segundo objetivo, llamado de crecimiento institucional, se refiere a la evaluación que realiza la institución para identificar a las personas mejor cualificadas que deben ser guardadas o mantenidas y aquellas cuya labor de excelencia debe reconocerse mediante ascensos de rango y el otorgamiento de permanencias.

Aunque son conceptualmente distintas, estos dos tipos de evaluación pueden confundirse fácilmente, afectándose la efectividad de la evaluación formativa y reduciéndose el proceso de evaluación a uno de índole de crecimiento institucional exclusivo. Para lograr ambos propósitos evaluativos, se debe reconocer la relación íntima entre uno y otro tipo de evaluación, pero se deben separar claramente los procesos formativos de los de crecimiento institucional para que no se confundan, asignándoles a funcionarios y a comités distintos.

Son variadas las técnicas que a lo largo del tiempo se han implementado para recoger datos puntuales sobre el desempeño profesoral siempre apuntando a que la información sea rigurosa, sistemática, válida y sobre todo fiable. En este orden de ideas, como lo argumentan Jesús Miguel Muñoz, María Paula Ríos y Eduardo Abalde, en su investigación "*Evaluación docente vs evaluación de calidad*"; los procedimientos y estrategias de acopio de información más utilizados son los cuestionarios, entrevistas, observaciones e informes de autoevaluación.

Además reconocen que el criterio de referencia de los alumnos no debe ser el único, pero es el más utilizado. Al existir numerosos aportes sobre cuáles son los agentes de evaluación del profesor, consideran como principales fuentes a los alumnos, colegas y al propio profesor. Las evaluaciones por los alumnos son las que más frecuentemente se han utilizado y siguen utilizándose en evaluación universitaria. Desde la perspectiva del aprendizaje el alumno es como mejor se valora la docencia recibida. El alumno distingue con facilidad una buena o mala actuación docente de un profesor [5].

Así pues, ¿cuáles son los rasgos de un docente que se deben evaluar para recoger la mayor cantidad de información útil y de calidad? En este tema, numerosos autores han aportado a la construcción de cualidades y factores claves para una evaluación de calidad.

Los estudios realizados por Trent y Cohen (1973) establecen como factores principales los siguientes [6]:

- Claridad de organización, interpretación y explicación.
- Fomento de la discusión en clase y presentación de diversos puntos de vista.
- Estimulación de intereses y motivación de los estudiantes.
- Atención e interés por los alumnos.
- Manifestación de entusiasmo.

Las investigaciones de Overall y Marsh (1977), obtienen los siguientes factores [7]:

- Entusiasmo-preocupación por la tarea docente.
- Amplitud de tratamiento de los temas presentados.
- Organización de la tarea.
- Interacción con los alumnos.
- Valoración del aprendizaje por parte del alumno.
- Adecuación de la evaluación al desarrollo de la clase.
- Trabajo-dificultad que ha supuesto lograr los objetivos de la materia.

Mateo y otros (1995) señalan que los instrumentos para proceder a la evaluación del profesorado obedecen a la necesidad de evaluar una serie de competencias, destrezas, actitudes [8]:

- Conocimiento de la materia.
- Competencias instruccionales.
- Competencias de evaluación.
- Profesionalidad.
- Otros deberes con el centro y la comunidad.

Comprendiendo los anteriores criterios, se puede definir la manera como se realiza la evaluación docente en la Universidad Tecnológica de Pereira (que como anteriormente se ha mencionado, es la institución de referencia que se tomara en el presente trabajo).

El proceso se divide en dos partes, la primera es la toma de datos referente al desempeño profesoral y la actitudinal del mismo a través de tres cuestionarios destinados a tres diferentes grupos; y la segunda es el análisis de la información recopilada en dichos cuestionarios.

El primer grupo consta de los alumnos. Son la primera línea para definir el desempeño de un profesor y por lo tanto el cuestionario perteneciente a este grupo es el más extenso y se convierte en aproximadamente el 70%, no sólo en contenido sino en importancia, dentro de la calificación docente. Consta de 25 preguntas sujetas a 7 aspectos que los estudiantes pueden percibir de su profesor (Ver anexo 1):

- Capacidad metodológica para el desarrollo de los temas.
- Motivación, interés y relación con los estudiantes.
- Puntualidad.
- Cumplimiento de los objetivos del curso y plan de trabajo.
- Logros en el proceso enseñanza – aprendizaje.
- Logros obtenidos en la asignación de tareas y proyectos.
- Coherencia entre la evaluación y los objetivos del curso.

La evaluación por parte de los alumnos se hace a través de internet, accediendo a un portal donde encuentra un listado de las materias matriculadas en el semestre y sus respectivos docentes. En este lugar se puede acceder al cuestionario que se diligencia y se envía. La aplicación guarda los datos de cada alumno que evaluó al profesor y al final del semestre genera un informe con el ponderado que se obtuvo en la evaluación.

El segundo grupo encargado de evaluar a un docente se compone por el jefe inmediato del profesor en cuestión y dos profesores del área donde este se desenvuelve. Este grupo básicamente tiene un enfoque interpersonal a la hora de evaluar. Su cuestionario consta de 12 preguntas enmarcadas en 6 aspectos (Ver anexo 2) y se realiza a mano:

- Relaciones interpersonales.
- Responsabilidad en su trabajo académico.
- Pertenencia institucional.
- Presentación de propuestas.
- Planificación y cumplimiento de sus funciones académicas.
- Producción académica.

Una vez realizado estos dos cuestionarios, es hora del tercer grupo, el consejo de facultad, integrado por el decano de la facultad, el director del programa, un estudiante egresado y un estudiante activo y por último un profesor de tiempo completo de la respectiva facultad. El cuestionario de este grupo (Ver anexo 3) se compone de seis aspectos:

- Nivel de participación en grupos de trabajo.
- Grado de pertinencia de sus propuestas y proyectos académicos para el desarrollo de su dependencia.
- Participación en los eventos de carácter académico programados por la Universidad, Facultad, Departamento o Sección.

- Informe de las actividades realizadas.
- Cumplimiento del plan de trabajo.
- Realización de las tareas que le fueron asignadas en razón de la naturaleza de su cargo y directamente relacionada con la Misión de la Universidad.

Con la información recopilada en estos tres cuestionarios, el consejo de facultad emite los resultados finales de la evaluación y su decisión es comunicada al profesor por escrito. El profesor tiene 8 días para refutar su calificación si no está de acuerdo con ella [9].

La Universidad Tecnológica de Pereira evaluará en forma periódica y sistemática el trabajo del personal docente y su rendimiento en las labores y funciones asignadas, con el propósito de diagnosticar las necesidades de actualización, capacitación y perfeccionamiento docente para establecer los planes y programas respectivos y estimular el buen desempeño [10].

Ahora bien, comprendiendo que el tema de la evaluación docente de las instituciones educativas, no solo se lleva a cabo por norma legal sino también por retroalimentación institucional en temas de calidad y recursos humanos; se puede emplear como comparación dos Instituciones universitarias de gran prestigio nacional, la Universidad de Antioquia y la Universidad Nacional de Colombia; y observar que se tiene en cuenta en estos claustros para llevar a cabo este proceso.

La evaluación profesoral en la Universidad de Antioquia, manifiesta una tendencia ajustada a dos enfoques: la rendición de cuentas, basada primordialmente en la medición del cumplimiento de los deberes contractuales del profesor, la aplicación del programa curricular y el logro de objetivos y resultados; las tareas de investigación, número de proyectos, publicaciones; y actividades de extensión o de proyección social también expresadas en proyectos o convenios realizados. Y el reconocimiento al mérito, puntos salariales por la obtención de buenos resultados en la ponderación de las evaluaciones finales [11].

Para la Universidad de Antioquia la evaluación docente está enfocada en tres atributos principales: que debe saber el docente, que debe saber hacer y cómo debe ser y comportarse. Esto con la finalidad de favorecer el reconocimiento de los principios y funciones misionales de la institución, orientar y definir la toma de decisiones de la administración central y de las unidades académicas y por último fortalecer los procesos de autoevaluación y autorregulación profesoral.

Las fuentes o participantes en el proceso son [12]:

- La autoevaluación del profesor (debidamente documentada donde se destacarán los logros y las dificultades para el logro de los objetivos).
- La evaluación del profesor por parte del estudiante.
- La evaluación del profesor por parte del superior inmediato.
- Evaluación del profesor por pares académicos.

Por otra parte, la Universidad Nacional de Colombia ve a la evaluación docente como la apreciación sistemática del desempeño de una persona, en función de las actividades que cumple, de las metas y resultados que debe alcanzar así como de su potencial de desarrollo. La evaluación es un medio a través del cual se pueden detectar potencialidades para mantenerlas y desarrollarlas y/o debilidades para corregirlas y superarlas [13].

Para la Universidad Nacional de Colombia los dominios a evaluar el desempeño docente son: la docencia, entendida como las diversas formas de entender los métodos y técnicas de enseñanza-aprendizaje, los contenidos y su organización, la planeación y desarrollo y las estrategias de evaluación; la participación y producción científica, cultural, artística o académica; la extensión social universitaria y el desempeño en actividades académico-administrativas [10].

Las fuentes de información de donde se alimentan los anteriores dominios son las siguientes, señalando con negrilla las fuentes principales, más usuales y reiteradas [14]:

6. Una calificación por parte de los estudiantes de pre y posgrado con quien entra en contacto.
7. Una calificación de docentes pares.
8. Una auto calificación.
9. Calificación de mentores o de un nivel superior.
10. Calificación por expertos externos en el marco de docencia, investigación o extensión universitaria.
11. Registro de videos de la actividad docente.
12. Una calificación por parte de grupos de estudiantes.
13. Una calificación por parte de ex alumnos.
14. Calificación por parte de empleadores.
15. Calificación por administrativos, de funciones académico-administrativas del docente.
16. Medición de resultados de aprendizaje en sus estudiantes.
17. Producción científica, técnica, tecnológica, artística, de innovación, cultural, etc.
18. Extensión remunerada - extensión solidaria.
19. Situaciones académico-administrativas, cuando eventualmente ocurran.

7. MARCO TEORICO

7.1. LÓGICA DIFUSA

Históricamente, las ciencias formales han restringido el uso del lenguaje a aquellos predicados que dividen en dos subconjuntos cierta colección de objetos de un universo U . Por ejemplo, si se tiene el conjunto de números naturales $U = \{1, 2, 3, 4, \dots\}$, el predicado “par” divide en dos subconjuntos el conjunto U . De esta forma, para el subconjunto $P = \{2, 4, 6, \dots\}$ el predicado “par” es cierto y el predicado “impar” es falso. Esta serie de predicados, pertenecen a la clase de *predicados precisos* también denominados *predicados clásicos* y son el foco de estudio de la lógica clásica o lógica bivaluada.

Sin embargo, dentro del lenguaje natural existen muchos otros predicados que no pueden dividir una colección de objetos de una forma precisa. Predicados como “alto”, “rápido”, “lleno”; no permiten realizar una división satisfactoria de la población de individuos en dos subconjuntos.

En la Antigua Grecia (250 a.c.), Aristóteles introdujo las Leyes del Conocimiento, las que posteriormente serían el sustento de la Lógica clásica. Sus tres Leyes fundamentales eran:

- Principio de Identidad.
- Ley de la Contradicción.
- Ley del Tercero Excluido.

La ley del Tercero Excluido afirma que para toda proposición p , bien p o $\sim p$ deben ser verdaderas, sin que haya ninguna proposición verdadera entre ellas. ¿Es acaso totalmente cierto? En principio podríamos pensar que así es, pero ciertamente nos surgen dudas al llenar un vaso hasta la mitad, y proponer como proposición p 'lleno'. Nos encontraremos que el vaso o está lleno, o está vacío. Platón planteó los fundamentos de lo que hoy se conoce como *lógica difusa*, indicando que había una tercera región entre verdadero y falso: los grados de pertenencia [15].

En el siglo XVIII David Hume y George Berkeley describieron y explicaron que el núcleo de un concepto atrae conceptos similares. A principios del siglo XX Bertrand Russell filósofo y matemático divulgó la idea de que la lógica tiene contradicciones, por lo tanto, realizó un estudio sobre las vaguedades del lenguaje y concluyó que la vaguedad es un grado. Por este mismo tiempo Ludwig Wittgenstein estudió los diferentes significados que tienen las palabras en un lenguaje, llegando a la conclusión de que en un lenguaje una misma palabra expresa modos y maneras diferentes.

Con estos cuestionamientos, estudios previos y conclusiones, Jan Lukasiewicz en 1920 desarrolló la idea de la lógica de vaguedades, la cual decía que los conjuntos tienen un grado de pertenencia con valores que se encuentran entre 0 y 1 y en este intervalo existen números infinitos de valores. Describió su idea como una

lógica de los 3 valores siendo el tercer valor 'posible'. Siguiendo con los estudios en 1937 Max Black define el primer conjunto difuso mediante una curva que recogía la frecuencia con la que se pasaba de un estado a su opuesto [15].

Fue en 1965 que Lotfi Asier Zadeh publicó el libro "Fuzzy sets" con el cual apadrinó el término "borroso" y creó la lógica difusa, donde combina los conceptos de la lógica clásica y los conjuntos de Lukasiewicz mediante la definición de grados de pertenencia, pero fue en 1973 cuando realmente propuso la teoría de la lógica difusa, poniendo en duda los cimientos de la lógica clásica, donde se habló de una función que operase en el rango de los números reales $[0,1]$, además de operaciones nuevas para el cálculo lógico y allí se mostró que la lógica difusa era una "generalización" de la lógica clásica.

La lógica difusa es un conjunto de principios matemáticos basados en grados de membrecía o pertenencia a un conjunto, cuya función es modelar información de carácter subjetivo. Este modelado se hace con base en reglas lingüísticas que aproximan una función mediante la relación de entradas y salidas del sistema. Esta lógica presenta rangos de membrecía dentro de un intervalo entre 0 y 1, a diferencia de la lógica clásica, en la que el rango se limita a dos valores: el cero y el uno [16].

A continuación se definirá de una manera más detallada cuales son las partes que componen un sistema basado en lógica difusa:

7.1.1. Conjuntos difusos

En los conjuntos clásicos, sea U un conjunto de objetos, por ejemplo $U = R^n$, que se denominará universo de discurso; cuyos elementos se representan como x . La pertenencia a un subconjunto A de U podría verse como una función característica $\mu_A: U \rightarrow \{0,1\}$ tal que [17]:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{si y solo si } x \in A \\ 0 & \text{si y solo si } x \notin A \end{cases} \quad (1)$$

De esta forma se observa claramente que los límites de pertenencia en los conjuntos clásicos están perfectamente definidos; solo existen dos posibilidades, el elemento X pertenece o no pertenece al subconjunto A .

Ahora bien, sea el mismo conjunto U , un subconjunto A de U de naturaleza difusa, queda caracterizado por una función de pertenencia μ_A que toma valores en el rango $[0, 1]$, es decir, $\mu_A: U \rightarrow [0,1]$; donde $\mu_A(x)$ representa el grado de pertenencia en el que $x \in U$ pertenece al subconjunto difuso A [18].

Podemos definir un conjunto difuso A , como un conjunto de pares ordenados:

$$A = \left\{ \frac{(x, \mu_A(x))}{x} \in U \right\} \quad (2)$$

A modo de ejemplo, para el conjunto de estaturas de personas $U = \{1.10, 1.35, 1.50, 1.65, 1.90\}$. El subconjunto de *estatura_media*, puede definirse, como se observa en la ilustración 1; asignando una función de pertenencia abrupta para el conjunto clásico *estatura_media* = *estatura entre 1.35 y 1.65*. Definido en términos difusos, la función de pertenencia de este conjunto toma valor de 1 solo en 1.50; 0 para los valores menores o iguales a 1.20 o mayores o iguales a 1.80; y valores intermedios entre 1.20 y 1.50 y entre 1.50 y 1.80.

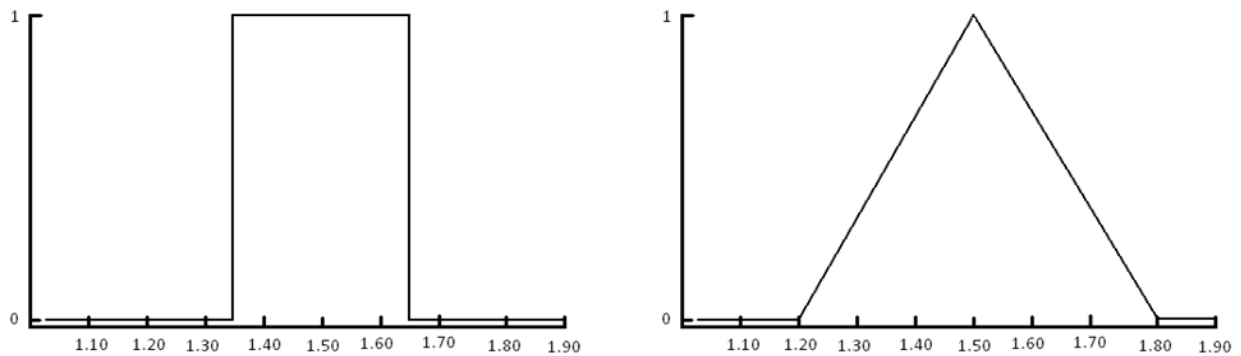


Ilustración 1 - Funciones de pertenencia de conjunto clásico (izquierda) y difuso (derecha) para estatura_media. (AUTOR)

Por lo tanto, el subconjunto difuso de *estatura_media* puede ser descrito como:

$$A = \{(1.10, 0), (1.35, 0.5), (1.50, 1), (1.65, 0.5), (1.90, 0)\}$$

7.1.2. Funciones de pertenencia

Las funciones de pertenencia son aquellas expresiones que le otorgan el comportamiento y representan los grados de pertenencia de cada uno de los elementos que conforman un conjunto difuso.

Entre las funciones de pertenencia convencionales se encuentran las siguientes [16]:

Función de Saturación.

La función de saturación es la más sencilla de todas, tiene un valor de 0 hasta cierto punto y después crece con pendiente constante hasta alcanzar el valor de 1 en donde se estaciona.

Este tipo de funciones describe muy bien situaciones en donde se alcanza un nivel máximo a partir de cierto punto, por ejemplo la estatura de una persona.

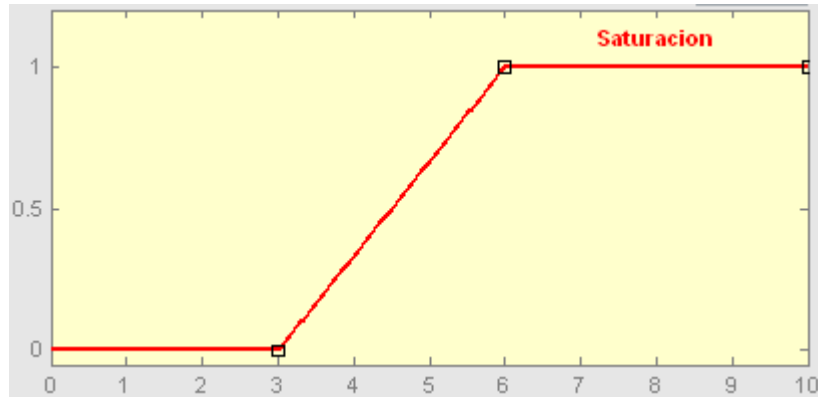


Ilustración 2 - Grafica de función de saturación.

Función de pertenencia de saturación:

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{si } a \leq x \leq b \\ 1 & \text{si } x > b \end{cases} \quad (3)$$

Función hombro:

Esta función es la contraparte de la función de saturación. En este tipo de función se inicia en un valor unitario y se decreciente con pendiente constante hasta alcanzar el valor de 0. Este tipo de funciones es útil cuando el grado de pertenencia es total en valores pequeños y decae conforme el valor de la variable aumenta; por ejemplo: el nivel de oxígeno de una pecera; mientras el número de peces no sobrepase un límite contemplado, el oxígeno es suficiente; a medida que el número de peces aumente, el oxígeno se va más limitado hasta que llegue el punto en que no sea suficiente y los peces mueran.

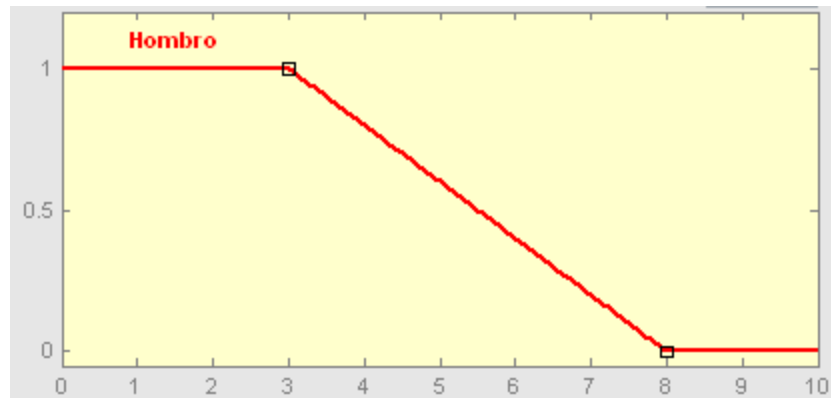


Ilustración 3 - Grafica de función de hombro.

Función de pertenencia de hombro:

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a} & \text{si } a \leq x \leq b \\ 0 & \text{si } x > b \end{cases} \quad (4)$$

Función triangular:

Su forma, como su nombre lo indica, consta de una parte de pendiente positiva constante hasta alcanzar la unidad y una vez que lo ha logrado desciende de manera uniforme.

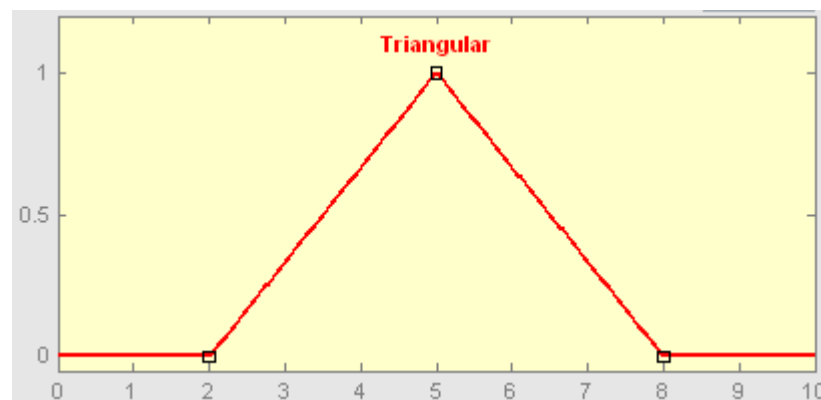


Ilustración 4 – Gráfica de función triangular.

La función triangular es muy adecuada para definir situaciones en las que se tiene un valor óptimo central, el cual se va perdiendo conforme uno se aleja de él. Un ejemplo de esta situación es la temperatura.

La función triangular se define como:

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{si } a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{si } b \leq x \leq c \\ 0 & \text{si } x > c \end{cases} \quad (5)$$

Función trapecio o PI

Una generalización de la función triangular es la función trapecio o función PI. En el caso de esta función no solo se tiene un valor para el cual la pertenencia es unitaria, sino toda una franja que varía su ancho dependiendo del fenómeno observado.

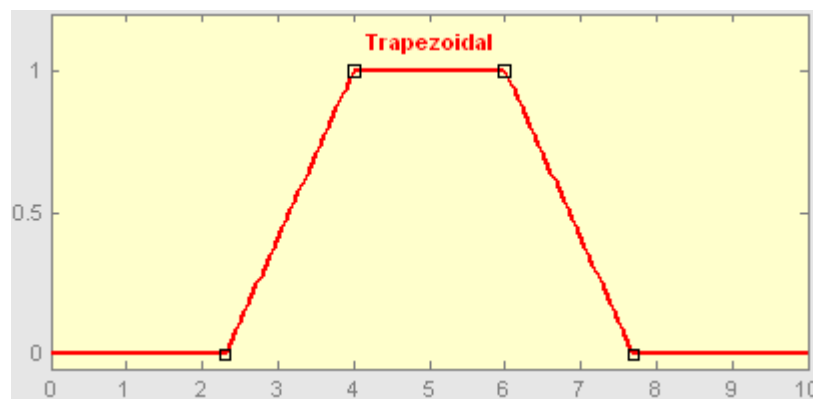


Ilustración 5 – Gráfica de la función trapezoidal.

La forma de esta función es muy utilizada, ya que como se emplea cuando hay un rango de valores óptimos, alrededor de los cuales las condiciones no son adecuadas. Una buena ilustración de esta función sería la iluminación con una vela, donde para algunas posiciones la iluminación es adecuada pero a medida que se van alejando, la iluminación empieza a ser menos confortable.

La función trapezoidal se define como:

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{si } a \leq x \leq b \\ 1 & \text{si } b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{si } c \leq x \leq d \\ 0 & \text{si } x > d \end{cases} \quad (6)$$

Función “S” o sigmoidal:

La forma de esta función es similar a la de saturación. Sin embargo, como su nombre lo indica, el segmento de subida no es una línea recta, sino una curva de

segundo orden la cual cambia de concavidad en un punto dado, y una vez que llega a 1 se mantiene en este valor.

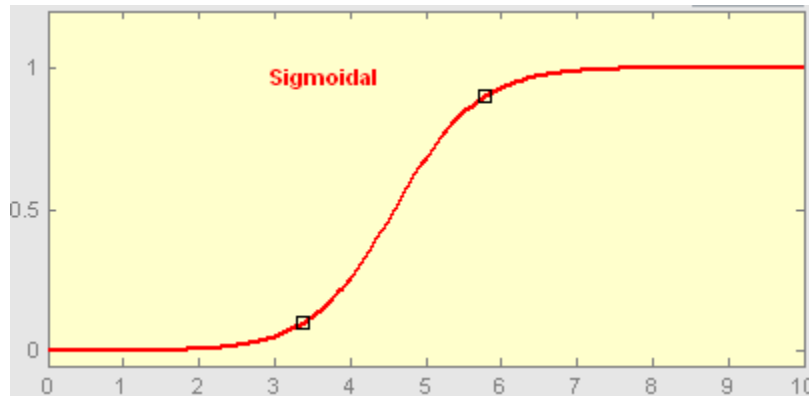


Ilustración 6 – Gráfica de la función S.

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x < a \\ 2 \left(\frac{x-a}{c-a} \right)^2 & \text{si } a \leq x \leq b \\ 1 - 2 \left(\frac{x-a}{c-a} \right)^2 & \text{si } b \leq x \leq c \\ 1 & \text{si } x > c \end{cases} \quad (7)$$

Función singleton:

La función tipo singleton tiene valor 1 solo para un punto X y 0 para el resto. Se utiliza habitualmente en sistemas difusos simples para definir los conjuntos borrosos de las particiones de las variables de salida, pues permite simplificar los cálculos y requiere menos memoria para almacenar la base de reglas.

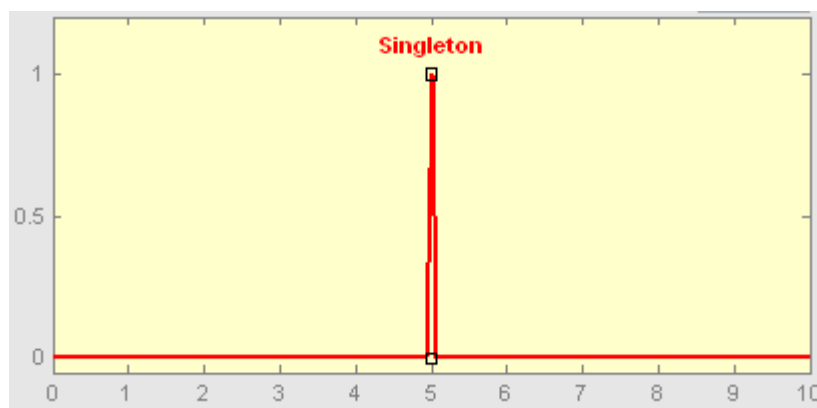


Ilustración 7 – Gráfica de función singleton.

Definición de función singleton:

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x = a \\ 0 & \text{si } x \neq a \end{cases} \quad (8)$$

7.1.3. Variables lingüísticas

Una de las características más significativas en la comunicación de los seres humanos es la utilización de términos poco precisos o difusos. Muy a menudo se dicen cosas como la persona es “gorda” o el carro es “rápido”, sin que en ningún momento se haya precisado el alcance de estos términos o de las frases que los utilizan y sin importar esto, no es obstáculo en la interacción y entendimiento entre humanos.

Una de las aplicaciones importantes de la lógica difusa es en el campo de los sistemas expertos. La razón es muy simple. Una de las dificultades importantes en la construcción de sistemas expertos, radica en lo difícil que es trasladar el conocimiento heurístico del experto a reglas de producción con el formato tradicional, que es muy restrictivo para el experto. Por el contrario permitir la representación con reglas que en vez de utilizar ternas objeto-atributo-valor, empleen variables lingüísticas difusas, les permiten mayor comodidad a los expertos para expresar su experiencia [17].

Según Bonifacio Martin del Brio y Alfredo Sanz Molina en su libro “Redes neuronales y sistemas borrosos”, se denomina variable lingüística a aquella que puede tomar por valor términos del lenguaje natural, como “mucho”, “poco”, “positivo”, “negativo”, etc. Que son las palabras que desempeñan el papel de etiquetas en un conjunto borroso.

En términos más formales, según los autores, una variable lingüística se define por una tupla $(A, T(A), U, G, M)$, donde A es el nombre de la variable, $T(A)$ es el conjunto de términos que nombran los valores X que puede tomar A , valores que son conjuntos borrosos en U ; el conjunto de valores numéricos que puede tomar para una variable discreta, o el rango de valores posibles para una continua, es lo que se conoce como el universo de discurso de la variable X , y se nombra U ; por último, G es una regla sintáctica para la generación de los nombres de los valores de X , y M es una regla semántica para asociar un significado a cada valor.

El siguiente ejemplo permitirá comprender el sentido de estos términos formales. “Temperatura” puede considerarse como una variable lingüística, de modo que $A = \text{“Temperatura”}$. $T(\text{temperatura})$ es el conjunto de todos los términos que pueden hacer referencia a la temperatura, como “muy fría”, “fría”, “normal”, “alta” y “muy alta”, pero también “agradable”, “suave”, “confortante”, etc. El universo de discurso U de esta variable va, en general, desde el cero absoluto al infinito, pero en aplicaciones normales se suele restringir al rango de temperaturas que pueden presentarse en ella (por ejemplo, temperaturas de 0 a 40 grados centígrados).

7.1.4. Reglas difusas

Las reglas difusas son la combinación de uno o más conjuntos difusos de entrada llamados premisas o antecedentes y se les asocia un conjunto borroso de salida llamado consecuencia o consecuente. La asociación de los conjuntos difusos de entrada son a través de conjunciones lógicas como *y*, *o*, etc.

Teniendo en cuenta lo anterior y con base en lo que ya se ha mencionado, una regla típica si-entonces para un sistema de control térmico sería: “Si *Temperatura* es *Alta* y *humedad* es *medio_baja* entonces *Velocidad_ventilador* es *rápida*”.

Las reglas difusas permiten contextualizar el conocimiento que se tiene acerca de las relaciones existentes entre las premisas y las consecuencias. Para construir una base de conocimiento sólida y completa se necesita de un conjunto de reglas que se agrupan formando lo que se conoce como una base de reglas.

7.1.5. Sistema experto difuso

Ahora que se han definido todos los conceptos básicos de un sistema basado en lógica difusa, es necesario hablar de su controlador, del mecanismo que engloba todas estas partes y hace posible la puesta en marcha de la lógica difusa.

Controlador difuso.

Un controlador difuso es un sistema basado en reglas con variables lingüísticas que emplea un mecanismo de inferencia difusa. Además de la utilización del modus ponens generalizado, las diferencias entre un sistema difuso y uno clásico son fundamentalmente dos [21]:

- Los sistemas difusos no suelen utilizar encadenamiento de reglas. La salida es directamente la aplicación del modus ponens generalizado a las entradas.
- Las reglas del sistema se activan en paralelo, de modo que la salida global es una combinación de la salida de cada una de las reglas.

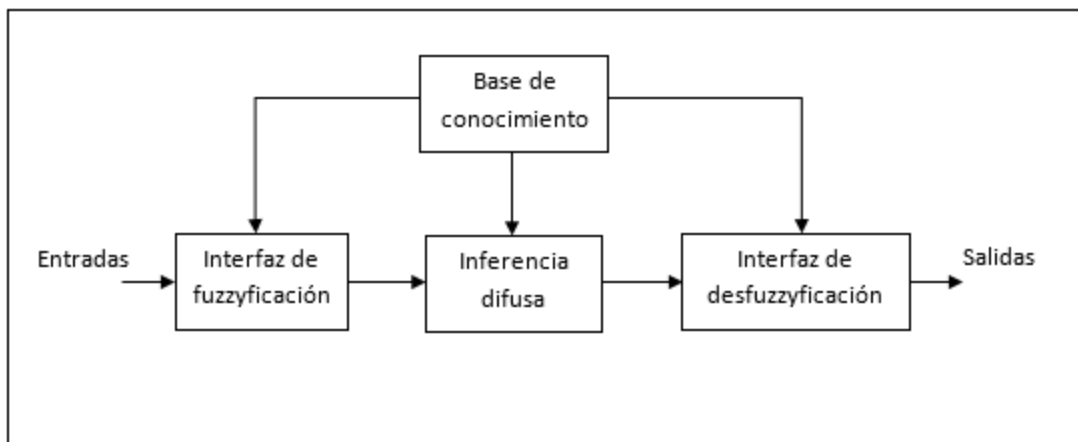


Ilustración 8 – Estructura de un controlador difuso [16].

Interfaz de fuzzyficación

Es el proceso mediante el cual las variables numéricas de entrada son mapeadas dentro de las funciones de pertenencia de las variables lingüísticas y se transfieren el rango de valores de las variables a un universo de discurso difuso. Se encarga de convertir los valores numéricos de la entrada de una variable en su respectivo grado de pertenencia a una variable lingüística.

En general el proceso de *fuzzyficación* lleva a cabo la transformación de valores reales a valores difusos, realizando los siguientes pasos:

- Medir las magnitudes de las variables físicas de entrada.
- Efectuar un mapeo escalado, que transfiere el rango de valores de entrada a su correspondiente universo de razonamiento.
- Convertir valores de entrada en valores lingüísticos, los cuales son vistos como etiquetas pertenecientes a conjuntos difusos [22].

Base de conocimiento

La base de conocimiento contiene toda la información de la aplicación que se va a controlar, así como las metas del controlador. Consta de una base de datos y una base de reglas lingüísticas para controlar la variable. La base de datos proporciona las definiciones para el establecimiento de reglas y la manipulación de datos difusos. La base de reglas caracteriza las metas de control y la política que utilizan los expertos para llevar a cabo el control, empleando proposiciones [16].

Inferencia difusa

En esta fase, los valores difusos obtenidos en la etapa de *fuzzyficación* son equiparados con los antecedentes de las reglas difusas que se encuentran en la base de conocimiento. Esto trae como consecuencia la activación solamente de aquellas reglas en las que todos los conjuntos difusos del antecedente sean no nulos frente a los valores difusos [17].

Interfaz de desfuzzyficación

La *desfuzzyficación* es la fase encargada de entregar al proceso de acciones de control un resultado determinístico resultante de la composición de las reglas y posterior procesamiento de los datos.

Existen varios métodos para encontrar el valor determinístico que arroja el controlador difuso, estos son [5]:

- Método de centro de gravedad o centroide.

Este método se utiliza para obtener el valor real de la salida. Su metodología es sencilla: corta la función de pertenencia al grado de pertenencia respectivo, es decir, segmenta las funciones de pertenencia, generando en cada función 2 áreas.

El área inferior que se forma es la que se toma para hacer el cálculo. Se sobreponen todas estas áreas y se saca el centroide de la superposición, el cual nos dice la salida real del sistema.

$$\bar{y} = \frac{\frac{1}{2} \int_a^b \mu(x)^2 dx}{A} \quad (9)$$

$$\bar{x} = \frac{\int_a^b \mu(x) * x dx}{A} \quad (10)$$

Siendo A, el área total de las dos áreas superpuestas.

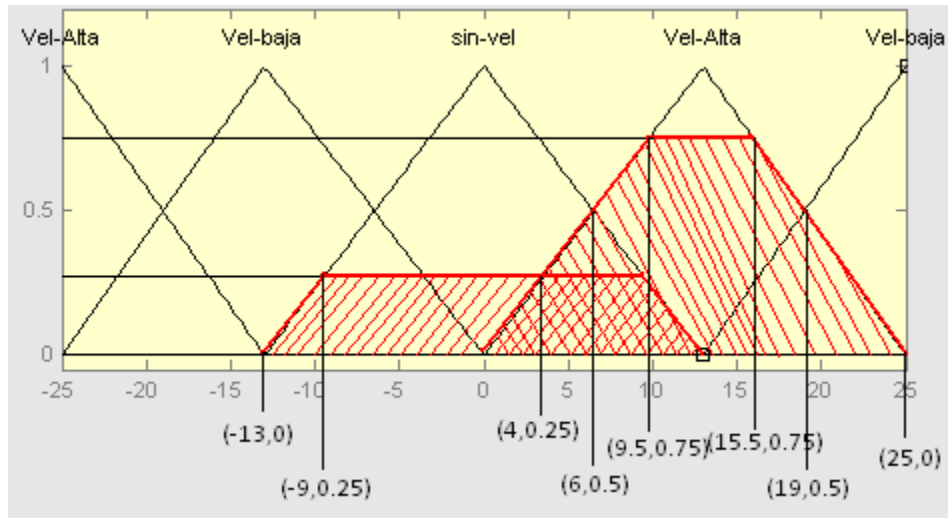


Ilustración 9 – Áreas superpuestas en una variable de salida resultado del proceso de desfuzzyficación.

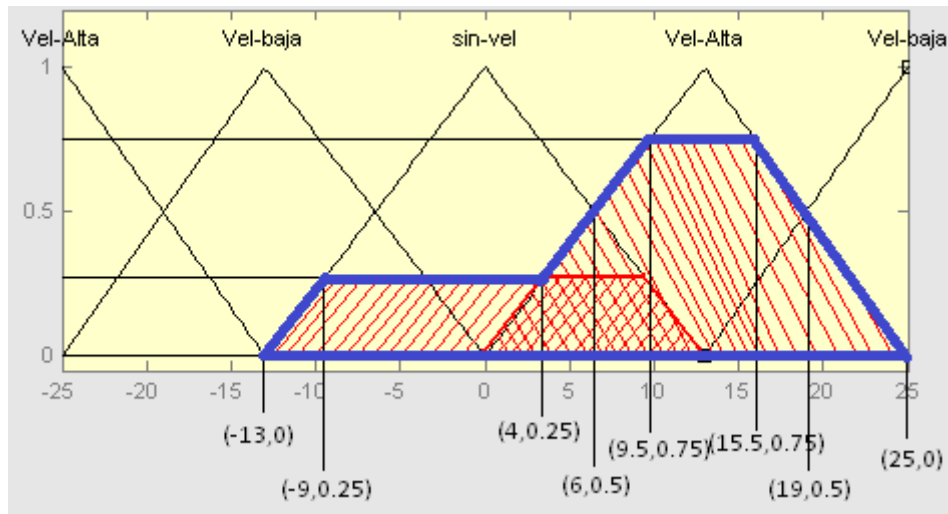


Ilustración 10 – Área total a la que se le aplicará el método de centroide.

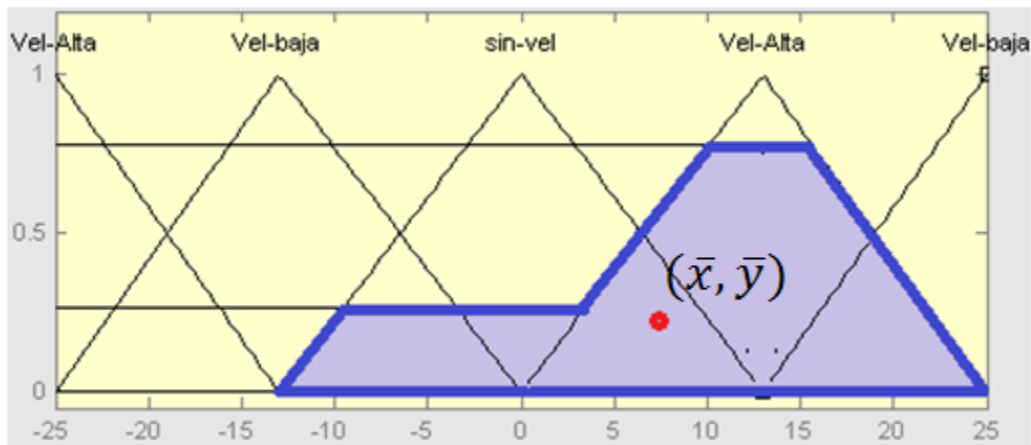


Ilustración 11 – Centroide del Área

- Método de promedio ponderado

Este método es un método simplificado. Primero se calcula el valor más común de cada etiqueta; esto se hace con el máximo de la respectiva función de pertenencia. Ahora bien, en el caso de las funciones trapezoidales se debe escoger el medio maximizado de dicha función.

Ya con estos valores típicos se les asigna un peso o valor, el cual es proporcional al grado de pertenencia, y la salida se determina haciendo balance de los distintos valores.

A continuación un ejemplo:

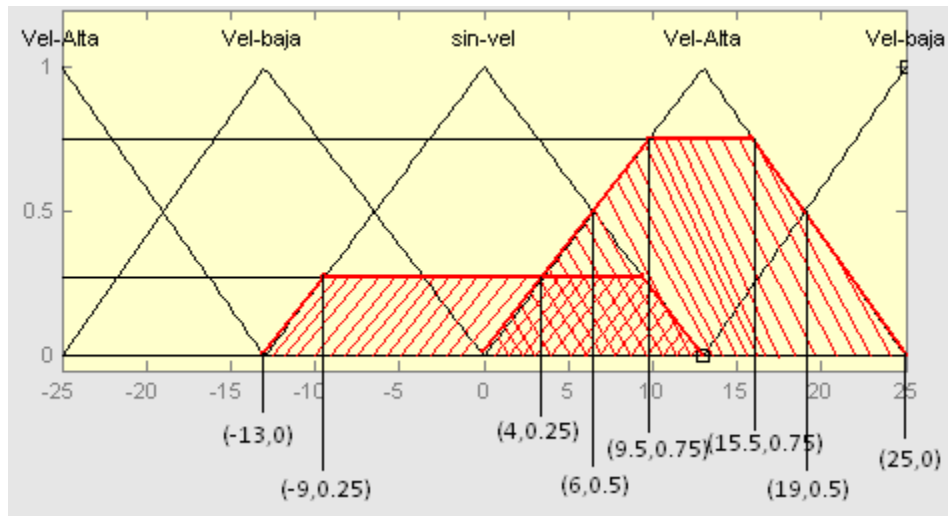


Ilustración 12 – Corte en la variable velocidad con el grado de pertenencia respectivo.

Como se aprecia en la ilustración 12; son 2 los subconjuntos difusos que hay que desfuzzyficar. Aplicando el método de centro máximo obtenemos la siguiente gráfica:

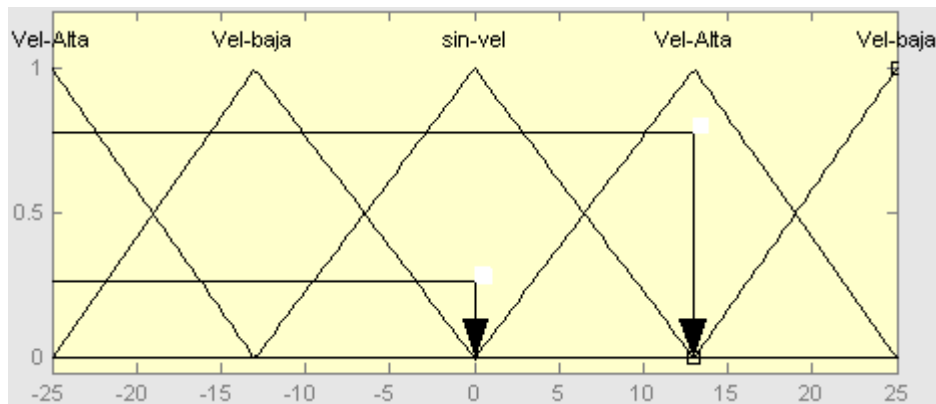


Ilustración 13 – Método del promedio ponderado.

Como se aprecia en la ilustración 13, el grado de pertenencia de 0.75 es el que tiene mayor peso y su valor típico es de 12.5. El otro grado de pertenencia es de 0.25, su valor típico es de cero, por lo que el cálculo de la salida por este método es:

$$Salida = \frac{\sum \mu(x) * \bar{x}}{\sum \mu(x)} \quad (11)$$

Siendo \bar{x} el valor medio máximo de dicha función. Por lo tanto se tiene que:

$$Salida = \frac{(0.75 * 12.5) + (0 * 0.25)}{0.75 + 0.25} = 9.375$$

- Principio de máxima pertenencia.

Este método es definido por la expresión [19]:

$$\mu_x(Z^*) \geq \mu_x(Z) \quad \text{Para todo } Z \in U \quad (12)$$

Este método también es llamado método de altura.

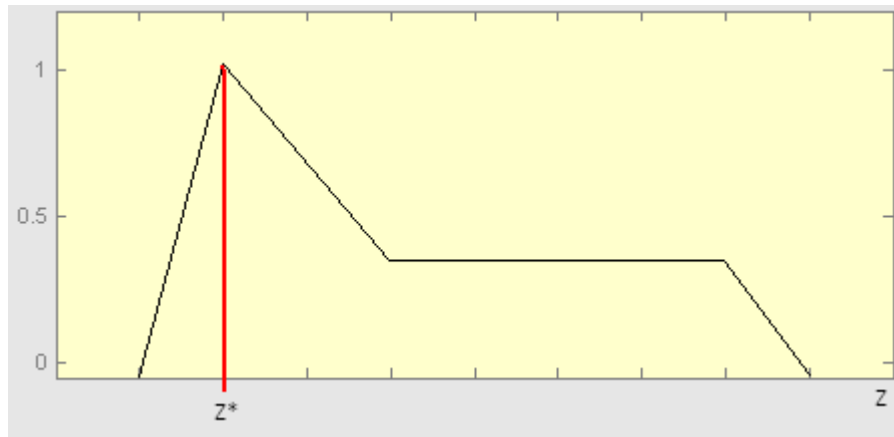


Ilustración 14 – Principio de máxima pertenencia.

- Máximo miembro significativo.

Este método está relacionado con el principio de máxima pertenencia, con la diferencia que el principio de la máxima pertenencia necesita un único punto mientras que el máximo miembro significativo utiliza un rango de valores. Este método también es llamado como método del medio máximo y su expresión está dada como [19]:

$$Salida = \left(\frac{a + b}{2} \right) \quad (13)$$

Donde a y b son los puntos finales del máximo rango de pertenencia de la salida.

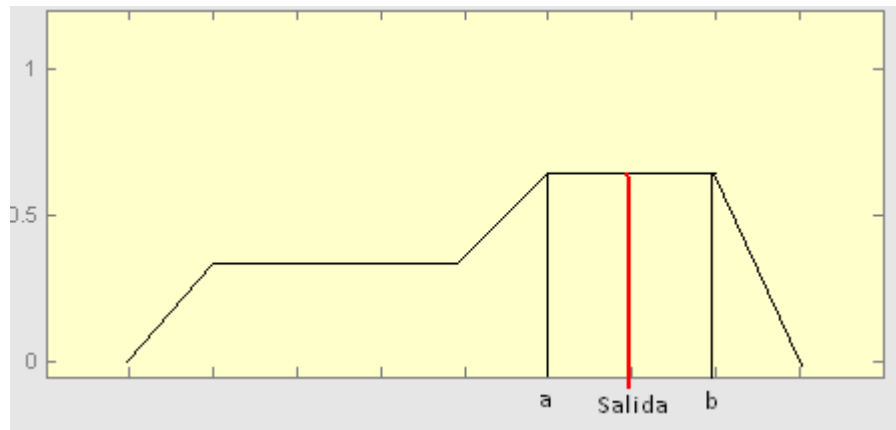


Ilustración 15 – Máximo miembro significativo.

7.2. HERRAMIENTAS DE DESARROLLO

El tema de lógica difusa ha sido abordado en diferentes proyectos y se han desarrollado librerías y herramientas en diferentes lenguajes de programación las cuales sirven para facilitar la creación e interacción con motores difusos. Lenguajes como JAVA, C++, Python, M, prolog, entre otros han servido para implementar librerías o toolbox para el desarrollo de dichas herramientas.

Luego de una investigación sobre las herramientas posibles a utilizar, la opción seleccionada es el Toolbox de matlab denominado FuzzyLogic la cual será descrita a continuación al igual que las ventajas y desventajas de las demás herramientas investigadas:

7.2.1. FuzzyTech

Es un entorno de desarrollo para sistemas basados en lógica difusa, este fue desarrollado por la compañía INFORM software GMBH, debido a una investigación realizado por un grupo dirigido por el profesor Hans Zimmermann de la universidad de Aachen ubicada en Alemania, el profesor Hans fue pionero de la lógica difusa en Europa, es presidente y fundador de la International Fuzzy Systems Association (IFSA), la principal organización internacional para la investigación y aplicación de los sistemas basados en lógica borrosa[23].

El GUI del entorno de desarrollo fuzzytech está basado en MS-windows y éste permite la definición de las funciones de pertenencia para la aplicación y de las variables lingüísticas para cada una de las variables del sistema, con la precisión que desee el usuarios según el tipo de desarrollo a realizar (8 o 16 bits), FuzzyTech permite definir la representación de las variables de dos formas:

Shell Values: Valores del mundo real que las variables representan siendo solamente usadas para presentar los valores actuales con FuzzyTec.

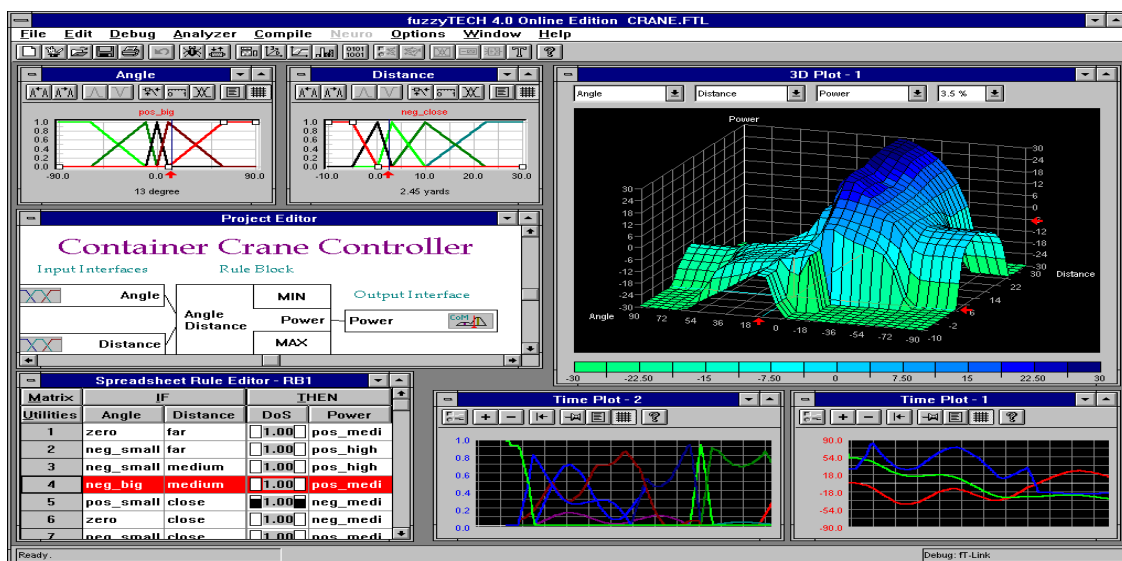
CodeValues: valores internos de 16 bits que el microcontrolador usa para calcular los resultados.

FuzzyTech dispone de varios asistentes para facilitar las tareas más frecuentes del diseño, como asistente para la estructura, para las variables y para las reglas. Incluye además una ventana de gestión del proyecto con estructura de árbol, un sistema personalizable de generación automática de documentación del proyecto según el estándar IEC1131-7, y un gestor de versiones integrado. El entorno permite la simulación en tiempo real y en fuera de línea, permitiendo éste último realizar debug, depuración, pruebas y optimización de las reglas y las funciones de pertenencia.

El modo de depuración interactiva que posee el entorno FuzzyTech ofrece una verificación gráfica de todas las etapas del proyecto que se está realizando, el modo batch permite crear un archivo de salida asociado a un archivo de entrada que contiene una muestra de los valores que esta puede tener.[23]

El uso de estas opciones que posee FuzzyTech permite al diseñador, desarrollador etc, saber si todas las reglas definidas son realmente necesarias, si las reglas importantes no han sido omitidas o borradas y permite observar si las salidas del sistema son coherentes con éste.

Una de las características importantes del entorno de desarrollo FuzzyTech es que tiene diferentes versiones aplicadas a diferentes implementaciones pero todas con interfaz de usuario común, además FuzzyTech ha sido escogido por diversos fabricantes del área industrial como herramienta para el desarrollo de aplicaciones basadas en lógica difusa.



7.2.2. JFuzzyLogic

En el caso de JAVA, contiene un plugin especial para el entorno de desarrollo Eclipse llamado “jFuzzyLogic”. Es un paquete de lógica difusa desarrollado en JAVA el cual implementa FCL (Fuzzy Control language - Lenguaje de control difuso) estandarizado por IEC 61131-7, y proporciona un sistema de inferencia borrosa completo (FIS), el paquete está formado por las clases:

- Membership.
- Rule.
- Defuzzifier.
- RuleConnection.
- RuleAggregation.
- RuleImplication.

El funcionamiento de jFuzzyLogic de una manera muy general, es el siguiente, primero que todo se debe definir el archivo FCL, se carga el sistema de inferencia al programa realizado en JAVA mediante la función load de la clase FIS, luego de éste procedimiento se puede evaluar con los datos que son pasados como parámetros al método setVariable de la clase FIS. Para obtener el resultado de la evaluación se realiza mediante el método getVariable de la clase FIS [24].

JFuzzyLogic posee las siguientes características:

- Algoritmos de optimización paramétrica: derivado, descenso de gradiente, jump.
- Implementa FCL
- Funciones miembro:
 - Continuas: GenBell, Sigmoidal, Trapetzoidal, Gaussian, PieceWiseLinear, Triangular,
 - Cosing, Dsigm.
 - Discretas: Singleton, GenericSingleton
 - Se pueden definir funciones miembro personalizadas
- Defusificadores:
 - Continuos: CenterOfGravity, RightMostMax, CenterOfArea, LeftMostMax, MeanMax
 - Discretos: CenterOfGravitySingletons
 - Defusificadores personalizados son fáciles de crear
 - Defusificadores basados en funciones
- Agregación de reglas: BoundedSum, Max, ProbOr, Sum, NormedSum

- Operadores de conexión de reglas AND y OR
- Métodos de implicación de reglas.

Como todas las herramientas, software, aplicaciones, etc., jFuzzyLogic tiene ventajas y desventajas las cuales serán nombradas a continuación:

Ventajas

- Es un paquete de java fácilmente portable a diferentes arquitecturas que puede funcionar perfectamente en un sistema embebido.
- Es software libre, por lo tanto hay beneficios en cuanto a las licencias de uso, además es de fácil implementación.

Desventajas

- Es de difícil uso, comparado con otras herramientas como MATLAB.

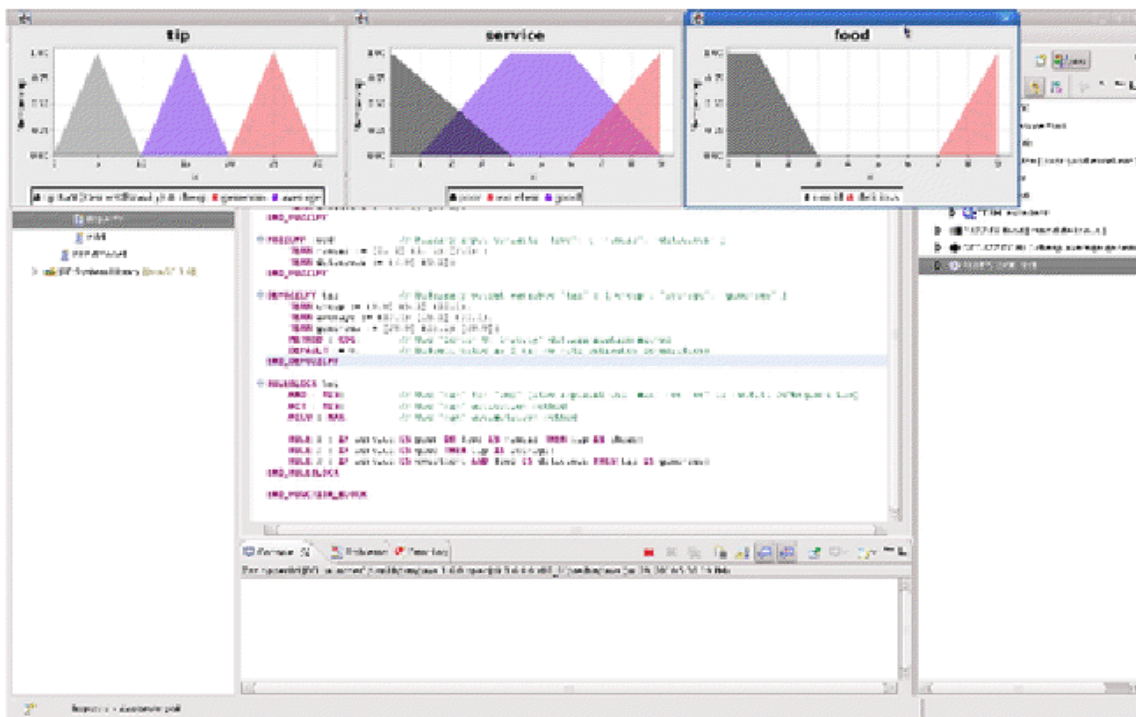


Ilustración 17 – Entorno visual JFuzzyLogic [24]

La investigación y el estudio de las anteriores herramientas se llevaron a cabo con el fin de hacer la selección de la herramienta a utilizar en el proyecto del prototipo del sistema de evaluación docente basado en lógica difusa, pero a pesar de las diferentes características que llamaban la atención la herramienta escogida para la realización del prototipo es el toolbox de matlab ya que en la carrera ésta

herramienta fue enseñada y manipulada, además de la licencia que posee la universidad sobre la herramienta MATLAB ©, permite que se haga uso de ésta en su totalidad y de forma legal.

7.2.3. ToolboxFuzzyLogic

ToolboxFuzzyLogic (FLT) es la herramienta que permite el uso de la lógica difusa a través de MATLAB © que es una herramienta de software matemático el cual ofrece un entorno de desarrollo (IDE) y su propio lenguaje llamado M, éste lenguaje fue creado en 1970 para permitir un acceso más fácil al software de Matrices sin tener que hacerlo utilizando el lenguaje de programación Fortran [25].

El desarrollo en toolboxFuzzyLogic se hace a través de la interfaz de usuario (GUI), lo cual lo hace muy amigable para el programador, y que es entendible y fácil de utilizar. Ésta herramienta consta de 5 herramientas gráficas que permite la construcción, edición y observación del sistema difuso:

- Sistema de inferencia Difuso (FIS)

El editor FIS permite visualizar las variables de entrada y salida que contiene el sistema difuso, permite hacer las configuraciones personalizadas según para que se necesite el sistema creado. Se puede definir de qué tipo será el motor de inferencia difusa (mamdaniósugeno), lo cual es mostrado en la representación de la función de membresía o de pertenencia, ya que en ésta herramienta no se muestra la función como tal, pero si se muestra su existencia, para ir indicando a la persona como está compuesto su sistema difuso.

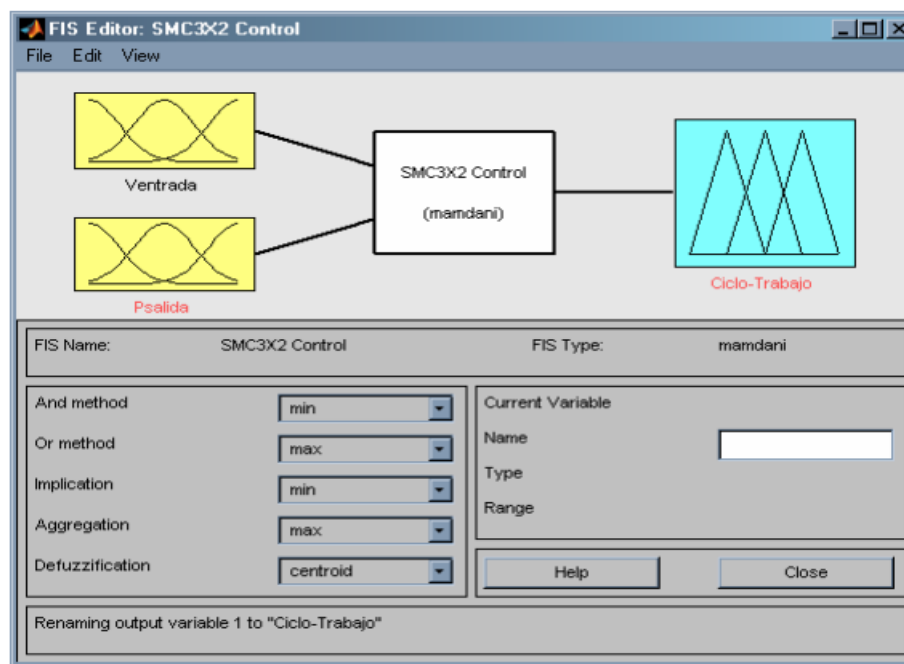


Ilustración 18 – Entorno visual editor FIS.

- Función de membresía o de pertenencia (MF)

El editor MF permite modificar las funciones de pertenencia de cada una de las variables tanto de entrada como de salida, tales como el nombre, el tipo, la forma de cada función de pertenencia y los valores del rango que se tendrán para cada variable.

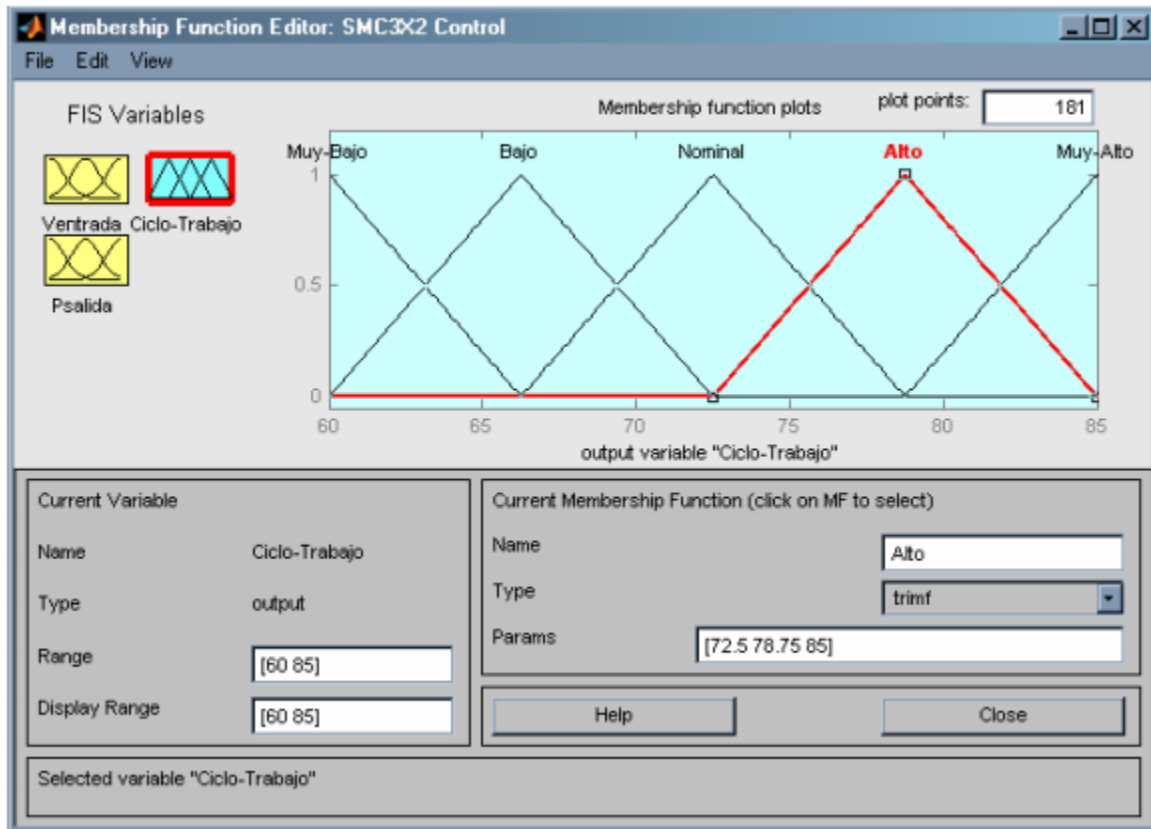


Ilustración 19 – Entorno visual editor de funciones de pertenencia.

- Editor de reglas

Una vez se tiene definidas las variables de entrada y de salida con sus respectivas funciones de pertenencia, se deben definir las reglas con las cuales trabajará el motor difuso, el editor de reglas permite hacer todas las permutaciones posibles para lograr llegar a un control deseado, haciendo uso de conectores como “OR”, “AND” y “NOT”.

En esta parte de la herramienta se permite borrar, agregar e inclusive modificar las diferentes reglas de forma muy simple, sin influir gravemente en las reglas previamente creadas.

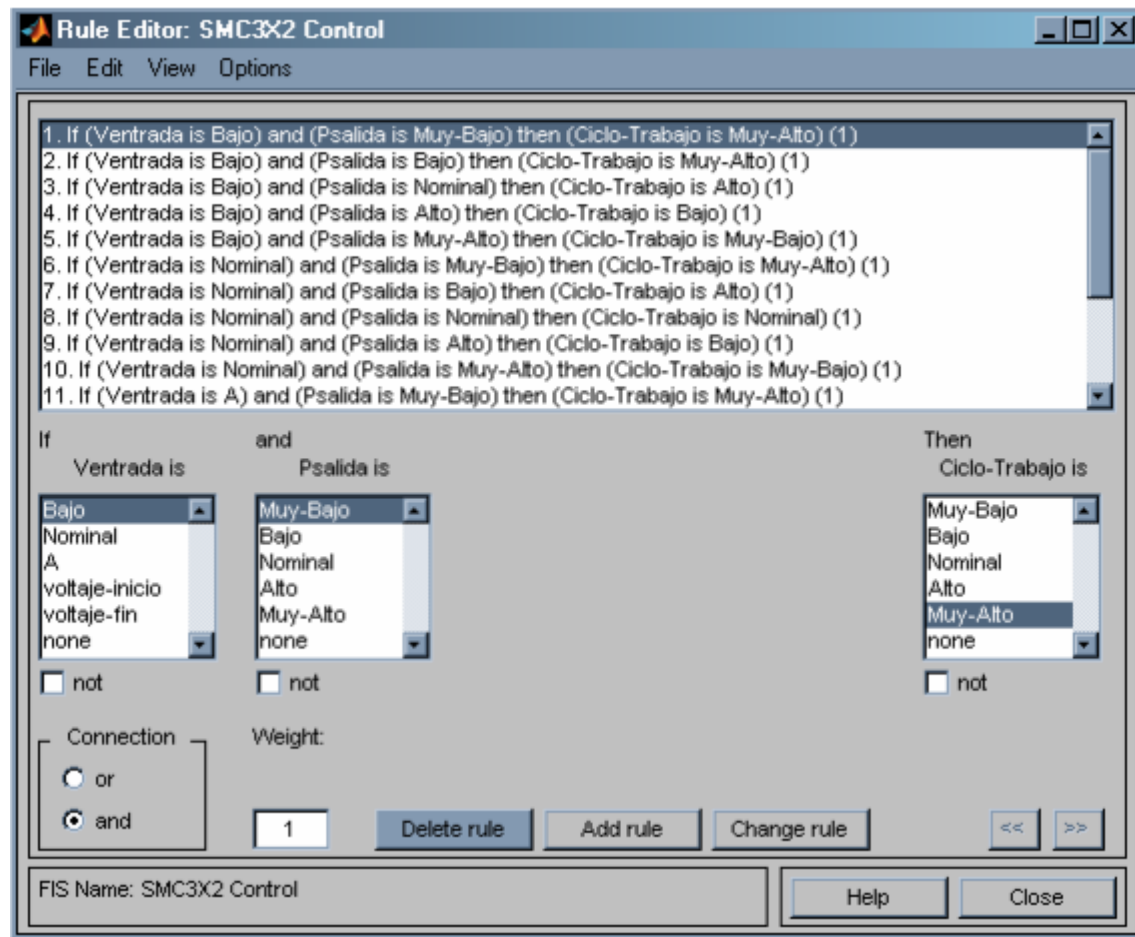


Ilustración 20 – Entorno visual del editor de reglas.

- Visualizador de reglas

Visualizador de reglas como su nombre lo indica permite ver las diferentes reglas que fueron creadas en el editor de reglas, dando detalle de las operaciones que se le aplicaron a cada regla, permitiendo visualizar las diferentes funciones de pertenencia y cuales hicieron parte del cálculo de la salida para cada una de las reglas, por lo tanto se puede visualizar las diferentes salidas con las funciones de pertenencia dependiendo de las entradas que se tengan, es decir, se puede jugar con las diferentes reglas para aprender con más facilidad cómo funciona la obtención de resultados en la lógica difusa.

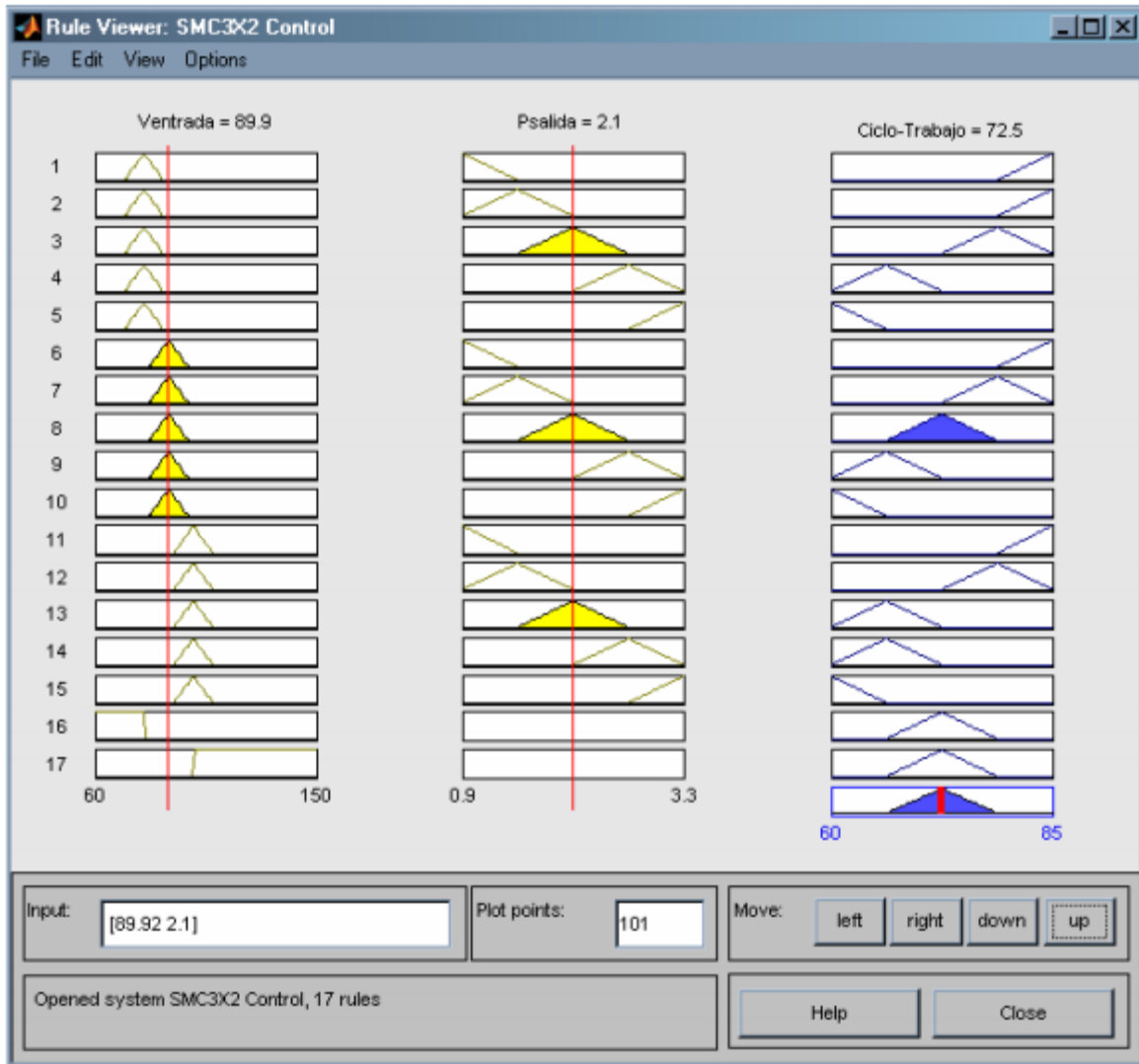


Ilustración 21 – Visualizador de reglas.

- Visualizador de superficie

Permite observar la relación que existe entre las diferentes variables tanto de entrada como de salida, generando así una superficie en un plano X, Y, Z.

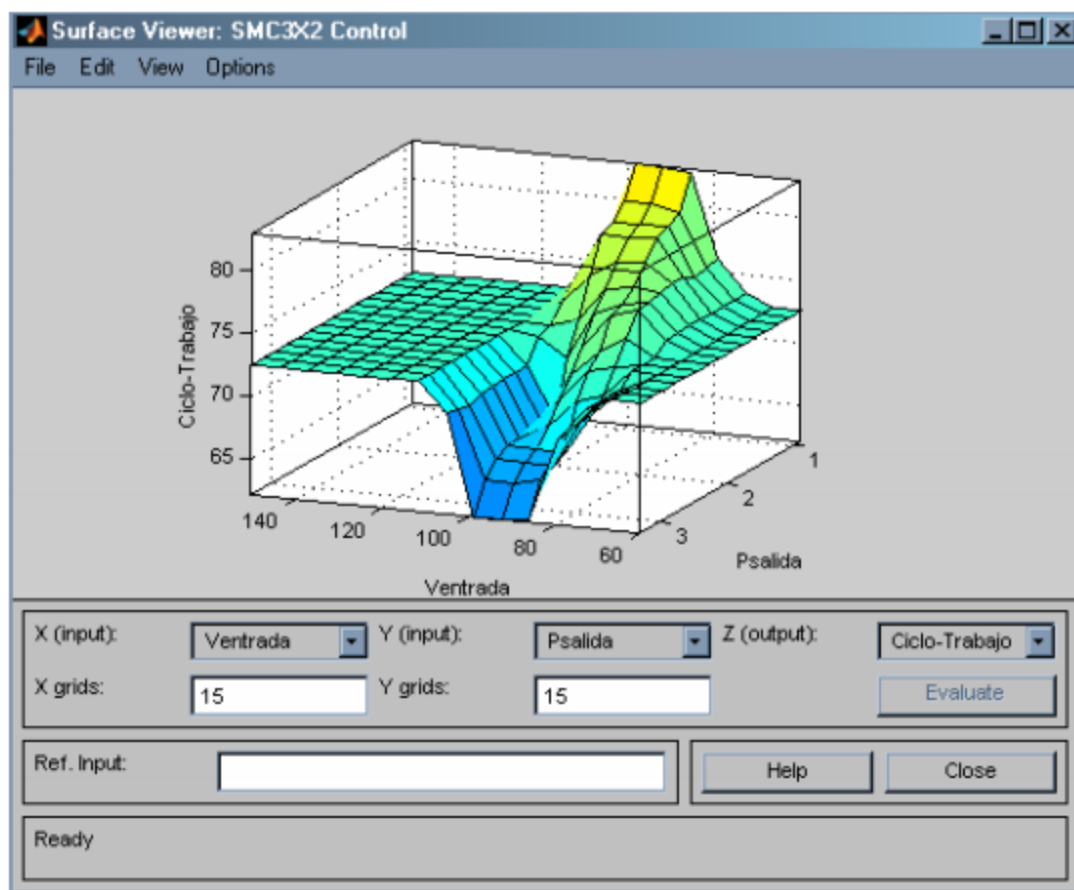


Ilustración 22 – Visualizador de superficie.

8. DISEÑO METODOLOGICO PRELIMINAR

8.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación a realizar es: Investigación exploratoria

8.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo se puede realizar un modelo basado en lógica difusa que realice la evaluación docente de instituciones de orden superior y adicional permita modificar la base de conocimiento que maneja de una manera sencilla y ágil?

8.3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

Aplicando un modelo de lógica difusa que permita cambiar en cualquier momento las reglas de su base de conocimiento se puede realizar la evaluación docente de las instituciones de orden superior.

8.4. METODOLOGÍA

Para el desarrollo y alcance de objetivos del proyecto, se definen cinco etapas las cuales están basadas en los requerimientos específicos del problema relacionado con la evaluación docente y la necesidad de no tener una base de conocimiento fija. Cada etapa se realizará de manera secuencial, de esta forma la nueva etapa se apoyará sobre los resultados de la etapa anterior.

La metodología a seguir se presenta en la siguiente ilustración:

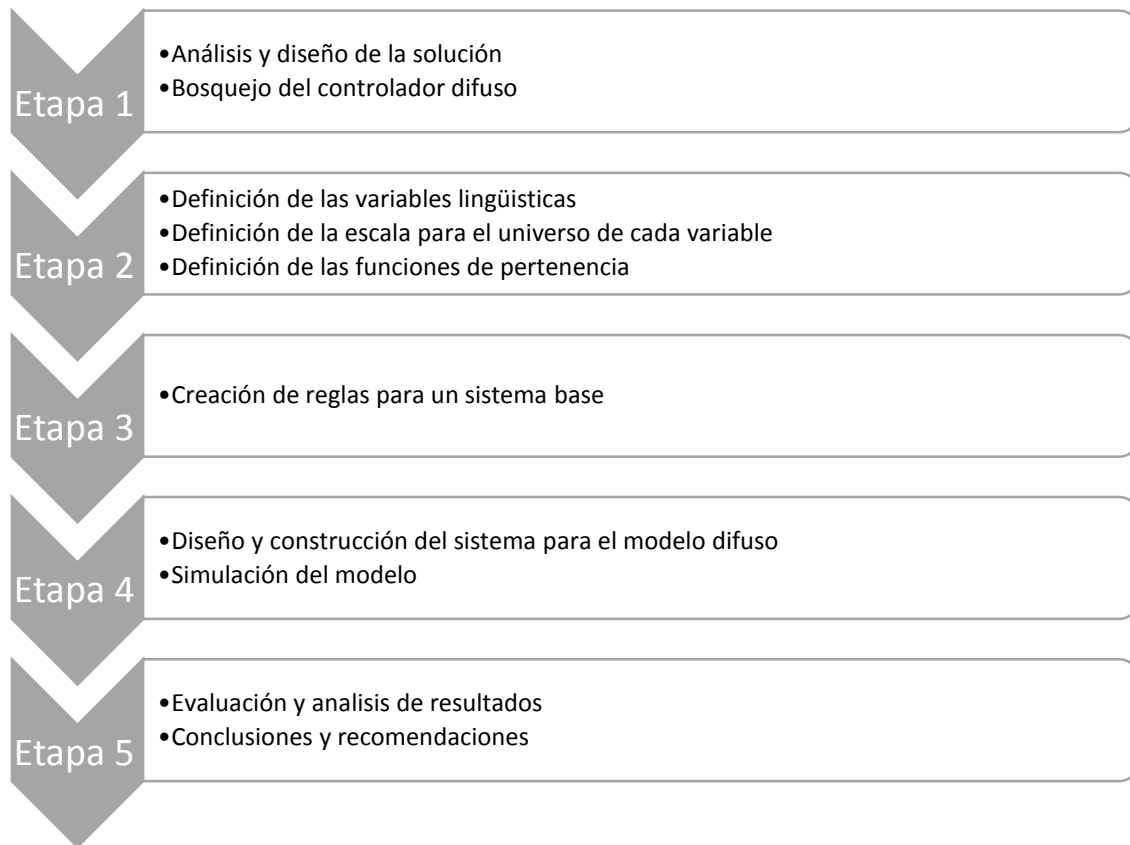


Ilustración 23 – Metodología del proyecto.

9. ESQUEMA TEMÁTICO

9.1. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

Basado en la hipótesis resuelta en el proyecto de grado de pregrado “prototipo de un sistema de evaluación docente basado en lógica difusa” se encuentra que la implementación de un sistema difuso para el tema de la evaluación docente en instituciones de orden superior es viable.

En este proyecto se implementó un sistema con 5 entradas (número de Excelentes, número de Sobresalientes, número de Buenos, número de Aceptables y número de Deficientes) provenientes del número de notas respectivas que los profesores obtienen en las calificaciones que realizan los estudiantes, el concejo de facultad y el jefe inmediato junto con dos colegas; y una salida la cual es la Calificación del Docente.

Para las 5 entradas se manejaron las etiquetas lingüísticas: “bajo”, “medio bajo”, “medio”, “medio alto” y “alto”. Y para la salida se definieron las etiquetas: “Excelente”, “sobresaliente”, “bueno”, “aceptable” y “deficiente”.

Con este conjunto de entradas y salidas se obtuvieron 84 reglas las cuales tenían todas las mismas estructuras. Se basaban en una regla que constaba de 5 antecedentes y una consecuencia.

Ej.:

Si el número de *Excelentes* es *bajo* y el número de *Sobresalientes* es *bajo* y el número de *Buenos* es *bajo* y el número de *Aceptables* es *alto* y el número de *Deficientes* es *bajo* entonces la *Calificación del Profesor* es *Aceptable*.

Sin embargo, este modelo convertía al sistema en un modelo netamente dependiente del número de preguntas que se realizaran en toda la evaluación. Por lo tanto, dicho sistema no podría adaptarse fácilmente a otro modelo de evaluación ya que su base de conocimiento depende netamente del número de preguntas planteadas en los cuestionarios.

Por tal motivo, si se necesita un sistema cuya base de conocimiento sea más flexible, se debe desligar de la dependencia que se tenía por el número de calificaciones, de un tipo o de otro, que se podrían obtener. Es necesario enfocar al modelo por aquellos elementos que en realidad se quiere comparar y calificar. La alternativa que se decidió fue que las entradas del sistema fueran cada uno de los aspectos generales que son evaluados de un docente (metodología utilizada, puntualidad, pertenencia institucional, relaciones interpersonales, etc.).

No obstante, el sistema de evaluación actual de la UTP, y por ende en el que se está basando el presente proyecto de grado, consta de 19 aspectos repartidos en

los 3 formularios con los que esta se realiza. Se componen de 7 aspectos para la evaluación por parte de los estudiantes, 6 para la evaluación del jefe inmediato y 2 profesores del área y 6 para el consejo de facultad como se muestra en la sección 6.2 *referencia institucional*. Por lo tanto, si se quisiera que cada uno de los aspectos fuera una entrada del sistema, la base de conocimiento sería muy extensa y supremamente complicada ya que una sola regla podría tener 19 antecedentes para obtener una sola consecuencia.

Con base en este hecho, se cambió el enfoque que se le quería dar al sistema planteando un modelo difuso con 3 entradas las cuales serían los 3 formularios que componen la evaluación de la UTP en este momento. Y una salida que sería la calificación del docente.

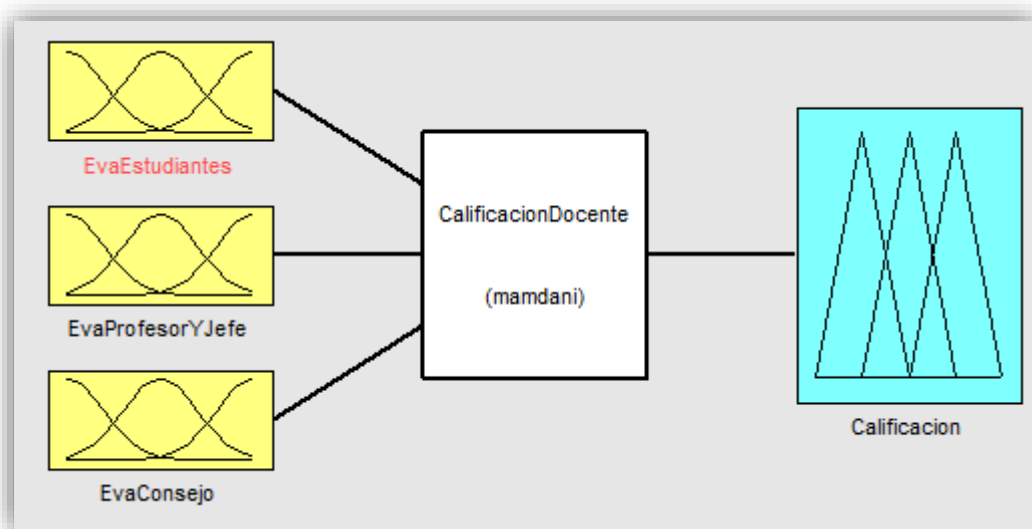


Ilustración 24 – Sistema difuso general.

Sin embargo, cada una de las entradas de dicho sistema será otro sistema difuso. Cuyas entradas representaran cada uno de los aspectos evaluados en cada formulario y la salida es la calificación obtenida en dicha calificación.

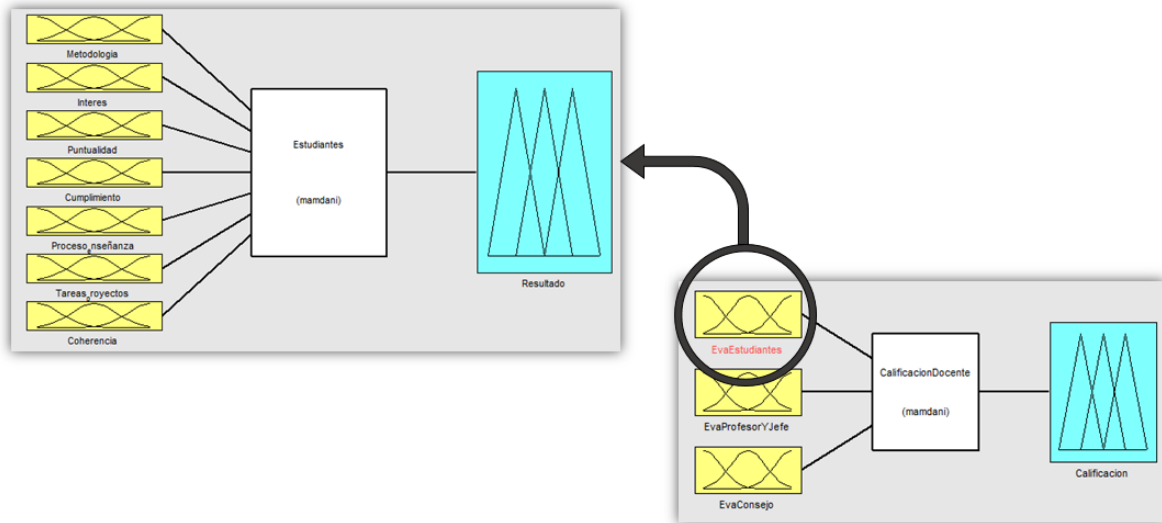


Ilustración 25 – Ilustración de sistema difuso general más sistemas difusos específicos.

Por lo tanto el sistema se compondrá de 4 modelos difusos. Un modelo para la evaluación por parte de los estudiantes con 7 entradas y una salida (Modelo Estudiantes). Otro modelo para la evaluación por parte del jefe inmediato y 2 profesores del área con 6 entradas y una salida (Modelo Profesores). Uno más para el consejo de facultad con 6 entradas y 1 salida (Modelo consejo). Y por último, un modelo que agrupa los demás compuesto por 3 entradas y una salida (Modelo General).

Por último, a través del GUI, a cada uno de los modelos se le permitirá la modificación de su base de conocimiento. De esta manera, se facilitará la posibilidad de cambiar los criterios o parámetros de calidad de un docente.

9.1.1. Restricciones del sistema

1. Al momento de realizar una calificación a través de alguno de los modelos, este no mostrara alguna recomendación o sugerencia que indique que acciones tomar sobre el docente o sobre la sección que se está evaluando. Solo se limitará a entregar un valor que será el insumo para el modelo general o la calificación final del profesor.
2. Los modelos no analizarán el campo de observaciones de los cuestionarios a través de los cuales se realiza la evaluación docente.
3. Los modelos no tomarán decisiones finales sobre el futuro de un docente, sólo mostrarán las calificaciones otorgadas al profesor.
4. Los datos cargados a los modelos serán obtenidos de las siguientes fuentes:

- a) Las respuestas a las preguntas en los cuestionarios deberán de cambiar de tener una escala cualitativa a una escala cuantitativa con un rango de 1 a 5 indicando que 1 es deficiente y 5 es excelente.
 - b) Promedio de los valores obtenidos en cada aspecto del cuestionario realizado a los estudiantes.
 - c) Promedio de los valores obtenidos en cada aspecto del cuestionario realizado al jefe inmediato y a los dos profesores del área.
 - d) Promedio de los valores obtenidos en cada aspecto del cuestionario realizado al consejo superior.
5. Los datos se cargarán a los modelos de manera manual excepto para el Modelo General. Las entradas al modelo general son las salidas de los otros 3 modelos como anteriormente se ha indicado.
 6. Solamente se puede hacer el ingreso de los datos y su respectiva evaluación a un docente a la vez.
 7. La modificación de la base de conocimiento en los distintos modelos no permitirán la adición de nuevas variables (entradas) o de etiquetas lingüísticas.

9.2. DEFINICIÓN DE VARIABLES LINGÜÍSTICAS

9.2.1. Variables de entrada

Las entradas de cada uno de los modelos del sistema, como anteriormente fue mencionado, son los diferentes aspectos que son evaluados actualmente en la evaluación docente realizada en la UTP. A continuación se muestra cuáles son los aspectos y a cual modelo pertenece:

Modelo	Nombre variable	Descripción
Modelo estudiantes	Metodología	Capacidad metodológica para el desarrollo de los temas
	Interés	Motivación, interés y relación con los estudiantes
	Puntualidad	Puntualidad
	Cumplimiento	Cumplimiento de los objetos del curso y del plan de trabajo
	Proceso_enseñanza	Logros en el proceso de enseñanza y aprendizaje
	Tareas_proyectos	Logros obtenidos en la asignación de tareas y proyectos
	Coherencia	Coherencia entre la evaluación y los objetivos del curso
Modelo	Relaciones	Relaciones interpersonales

profesores	Responsabilidad	Responsabilidad en su trabajo académico
	Pertenencia	Pertenencia institucional
	Propuestas	Presentación de propuesta
	Cumplimiento	Planificación y cumplimiento de sus funciones académicas
	Producción	Producción académica
Modelo consejo	Participacion_grupos	Nivel de participación en grupos de trabajo.
	Pertinencia	Grado de pertinencia de sus propuestas y proyectos académicos para el desarrollo de su dependencia.
	Participacion_eventos	Participación en los eventos de carácter académico programados por la Universidad, Facultad, Departamento o Sección.
	Informes	Informe de las actividades realizadas.
	Cumplimiento	Cumplimiento del plan de trabajo.
	Tareas_asignadas	Realización de las tareas que le fueron asignadas en razón de la naturaleza de su cargo y directamente relacionada con la Misión de la Universidad
Modelo general	EvaEstudiantes	Resultado de la calificación obtenida por la encuesta por parte de los estudiantes
	EvaProfesorYJefe	Resultado de la calificación obtenida por la encuesta por parte del jefe directo y los 2 profesores del área
	EvaConsejo	Resultado de la calificación obtenida por la encuesta por parte consejo de facultad

Tabla 1. Definición de variables de entrada para los modelos del sistema difuso.

Para las variables de entrada de los modelos se manejarán las siguientes etiquetas lingüísticas:

Modelo	Nombre de la etiqueta	Abreviación
Modelo estudiantes Modelo profesores Modelo consejo	Excelente	E
	Sobresaliente	S
	Bueno	B
	Aceptable	A
	Deficiente	D
Modelo general	Excelente	E
	Bueno	B
	Deficiente	D

Tabla 2. Definición de etiquetas lingüísticas para las variables de entrada de los modelos del sistema difuso.

9.2.2. Variables de salida

Para los diferentes modelos que manejará el sistema difuso se tendrán las siguientes salidas:

Modelo	Nombre variable	Descripción
Modelo estudiantes	Resultado	Resultado de la calificación obtenida por la encuesta por parte de los estudiantes
Modelo profesores	Resultado	Resultado de la calificación obtenida por la encuesta por parte del jefe directo y los 2 profesores del área
Modelo consejo	Resultado	Resultado de la calificación obtenida por la encuesta por parte consejo de facultad
Modelo general	Calificación	Calificación definitiva del docente después del proceso de evaluación

Tabla 3. Definición de variables de salida para los modelos del sistema difuso.

Para las variables de salida de los 4 modelos se manejaran las siguientes etiquetas lingüísticas:

Nombre de la etiqueta	Abreviación
Excelente	E
Bueno	B
Deficiente	D

Tabla 4. Definición de etiquetas lingüísticas para las variables de salida de los modelos del sistema difuso.

9.2.3. Criterio para la prueba y validación del modelo

Para el proceso de validación se tomarán datos ficticios los cuales se introducirán en los campos correspondientes en la interfaz hecha para el modelo de evaluación docente. Todos los datos se analizarán con una base de conocimiento previamente cargada en el sistema y se obtendrá la calificación del profesor. Una vez realizado este proceso, se modificará la base de conocimiento cargando un conjunto de reglas distintas que simularán objetivos y prioridades diferentes que pueden llegar a presentar alguna institución.

El procesamiento de los datos realizado en los cada uno de los 4 modelos, también se realizarán de manera manual. De esta manera, al final del proceso, se comparará el resultado obtenido por el sistema y el resultado obtenido por la matemática que define los modelos difusos.

9.3. DEFINICIÓN DE LAS FUNCIONES DE PERTENENCIA

Debido a la manera como se llevará a cabo el diligenciamiento de las diferentes encuestas en el proceso de evaluación, en la cual se pedirá una calificación del 1 al 5 en cada pregunta del formulario donde 1 es Deficiente y 5 es Excelente (por lo tanto 2 es Aceptable, 3 es Bueno y 4 Sobresaliente), la función de pertenencia “triangular” es muy adecuada para definir dicho comportamiento. Esta función define un valor óptimo central el cual se va perdiendo conforme se aleja de él o se aumenta mientras se acerca.

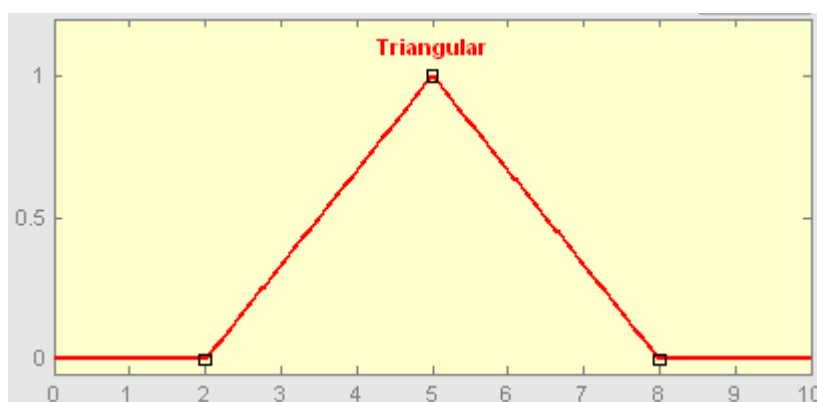
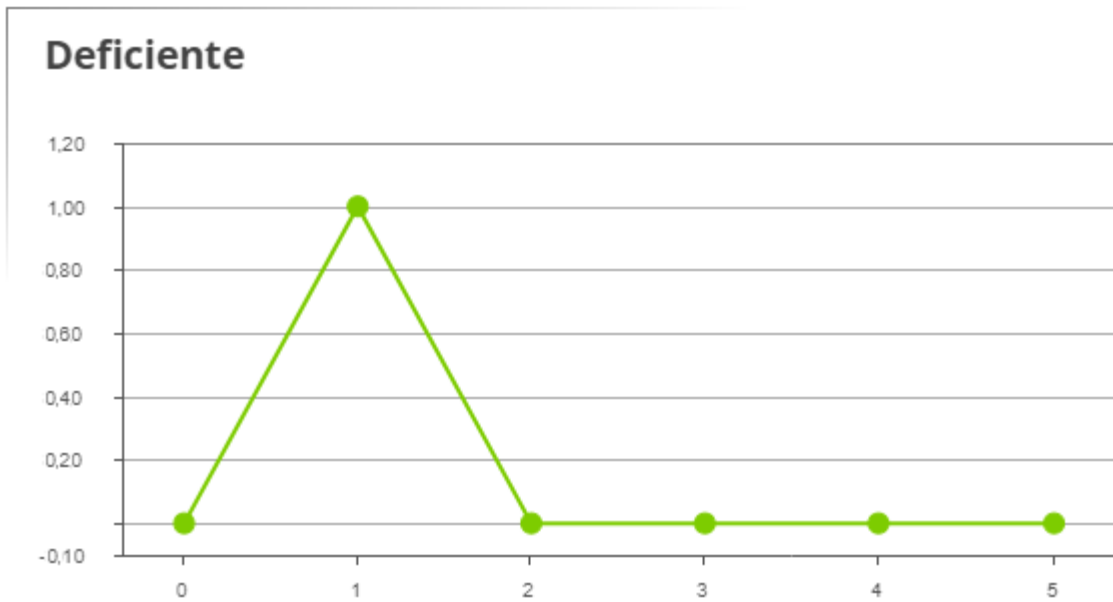


Ilustración 26 — Gráfica de función triangular.

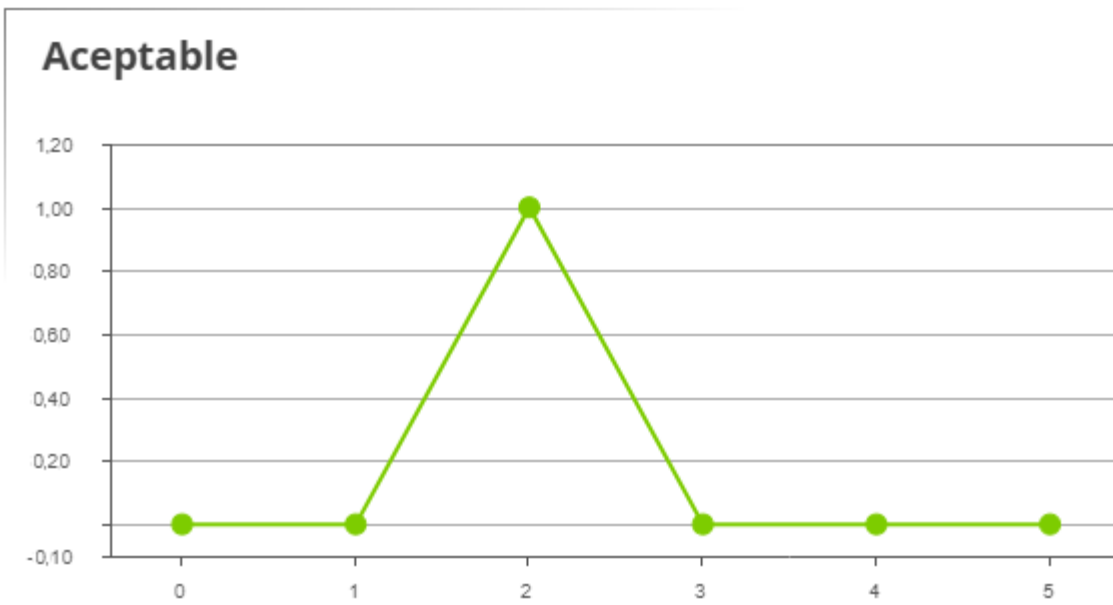
9.4. DEFINICIÓN DE LA ESCALA EN EL UNIVERSO DE DISCUSIÓN

9.4.1. Conjuntos difusos para variables de entrada

Para empezar, los conjuntos difusos para todas las variables de entrada de los modelos difusos de estudiantes, profesores y consejo son los mismos y están descritos a continuación:



*Ilustración 27 – Función de pertenencia etiqueta lingüística Deficiente, rango 0 – 2
(AUTOR)*



*Ilustración 28 – Función de pertenencia etiqueta lingüística Aceptable, rango 1 – 3
(AUTOR)*

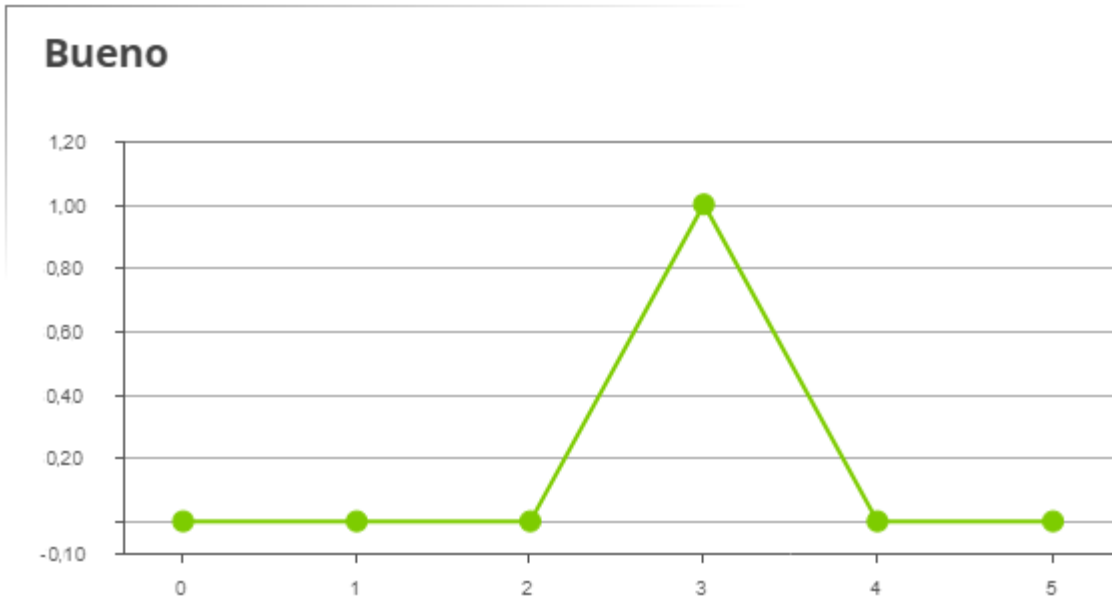


Ilustración 29 – Función de pertenencia etiqueta lingüística Bueno, rango 2 - 4 (AUTOR)

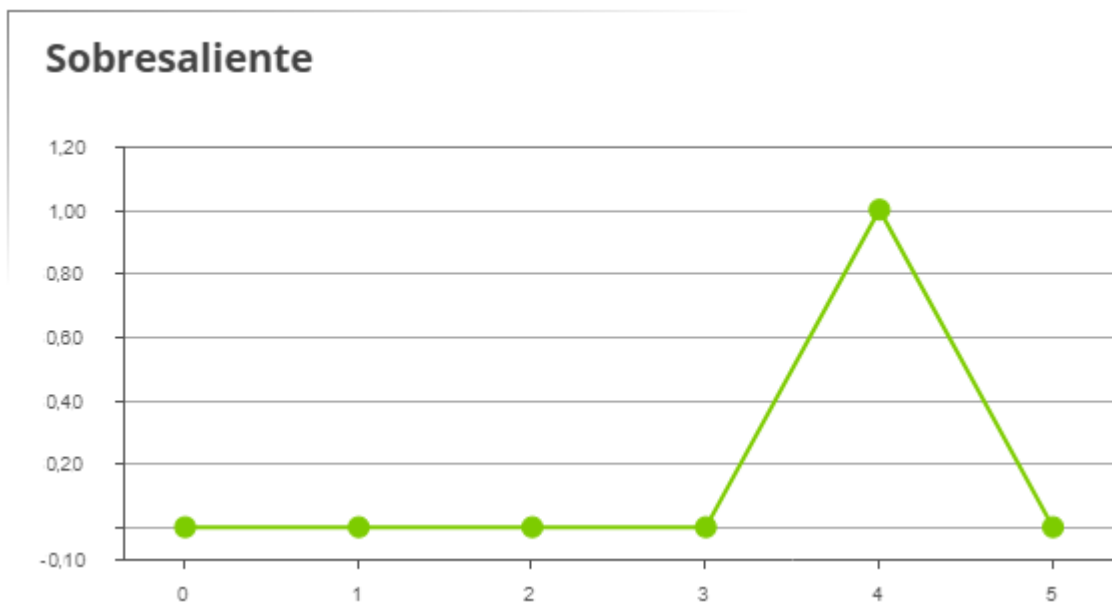


Ilustración 30 – Función de pertenencia etiqueta lingüística Sobresaliente, rango 3 – 5 (AUTOR)

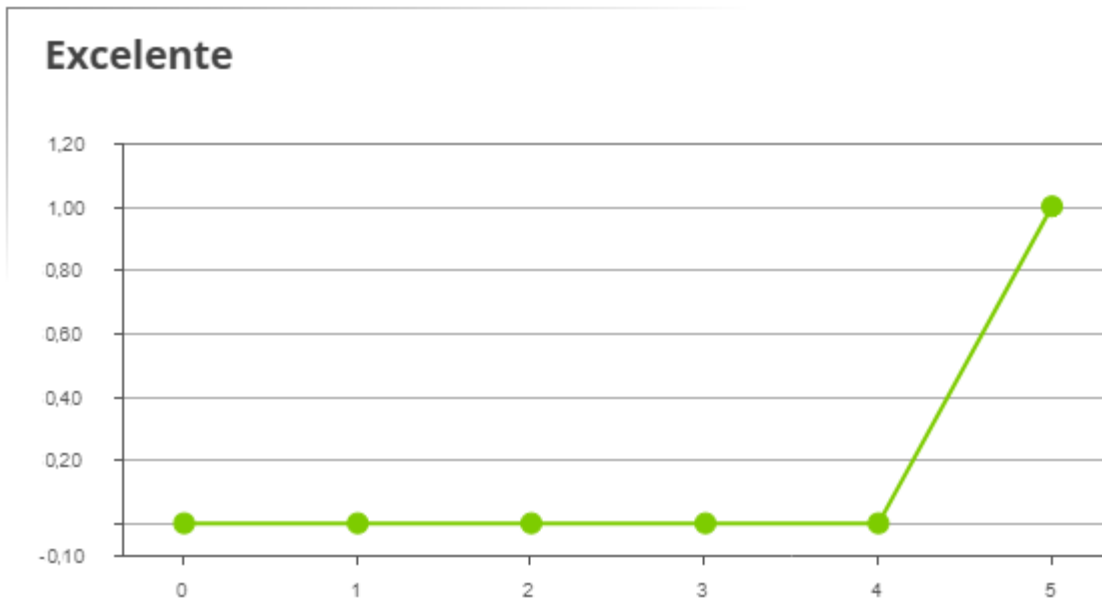


Ilustración 31 – Función de pertenencia etiqueta lingüística Excelente, rango 4 – 5 (AUTOR)

De las ilustraciones anteriores se observa que los valores del universo de discurso para las entradas de los diferentes modelos de evaluación están comprendidos entre 0 y 5, los cuales corresponden a la máxima calificación que se le podría otorgar en una pregunta a un docente en uno de los formularios.

Ahora bien, las funciones de pertenencia para las variables de entrada del modelo general están descritas a continuación:

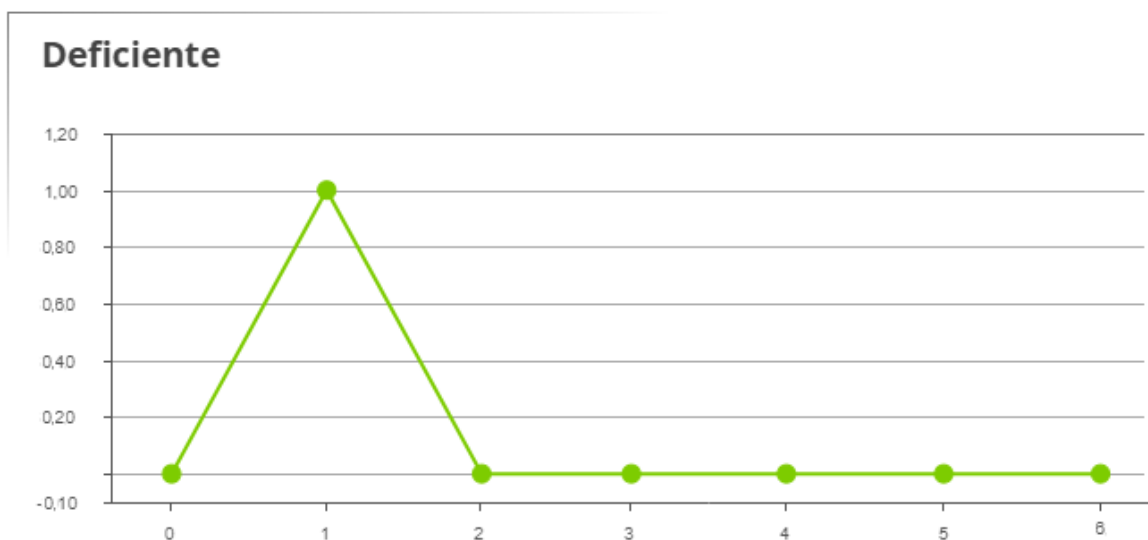


Ilustración 32 - Función de pertenencia etiqueta lingüística Deficiente (Modelo general), rango 0 – 2 (AUTOR)

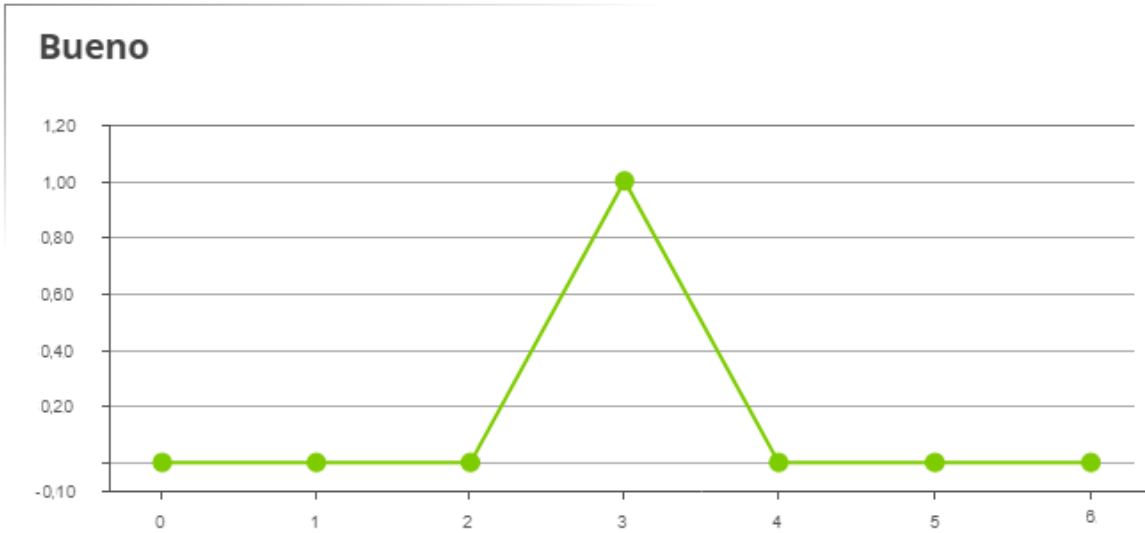


Ilustración 33 - Función de pertenencia etiqueta lingüística Bueno (Modelo general), rango 2 - 3 (AUTOR)

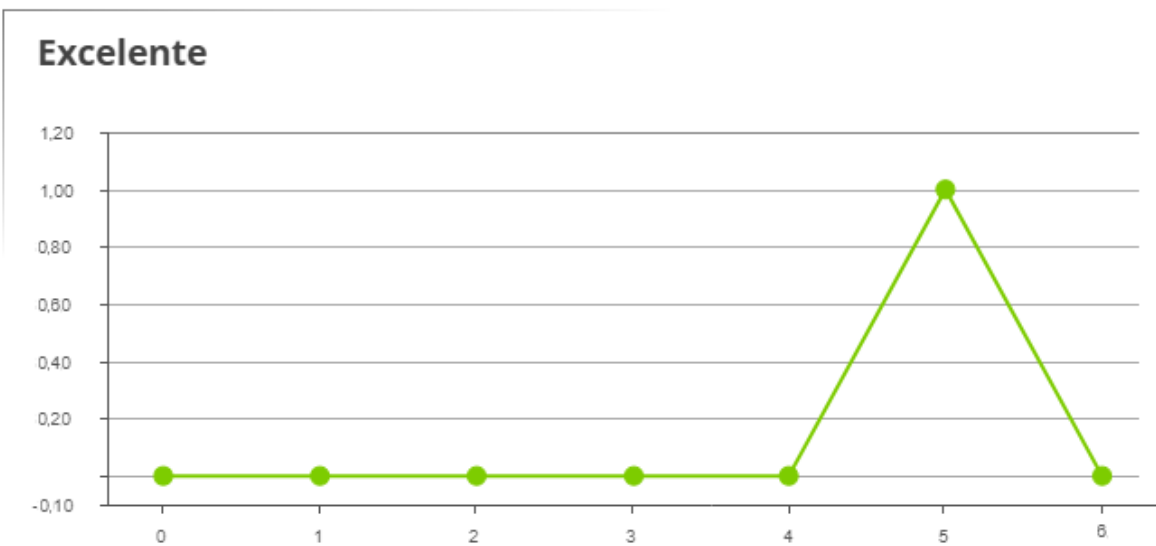


Ilustración 34 - Función de pertenencia etiqueta lingüística Excelente (Modelo general), rango 4 – 6 (AUTOR)

De las ilustraciones anteriores se observa que los valores del universo de discurso para las entradas del modelo general del sistema difuso están comprendidos entre 0 y 5, los cuales corresponden directamente a los valores de salida de los demás modelos difusos del sistema.

9.4.2. Conjuntos difusos para variables de salida

Ahora bien, los conjuntos difusos para todas las variables de salida de los modelos difusos de estudiantes, profesores, consejo y modelo general son los mismos y están descritos a continuación:

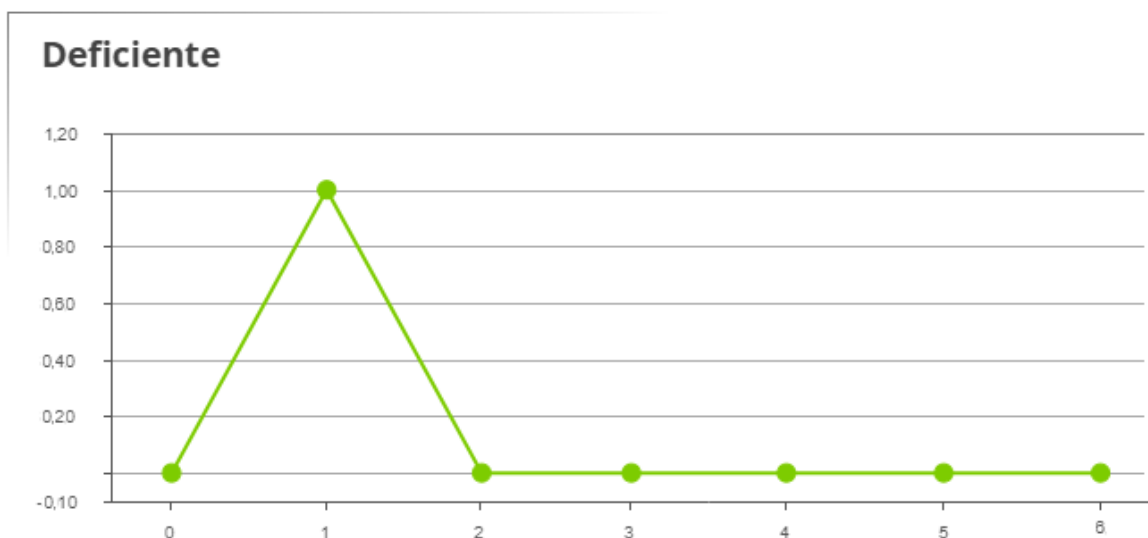


Ilustración 35 - Función de pertenencia etiqueta lingüística Deficiente (salida modelo general), rango 0 – 2 (AUTOR)

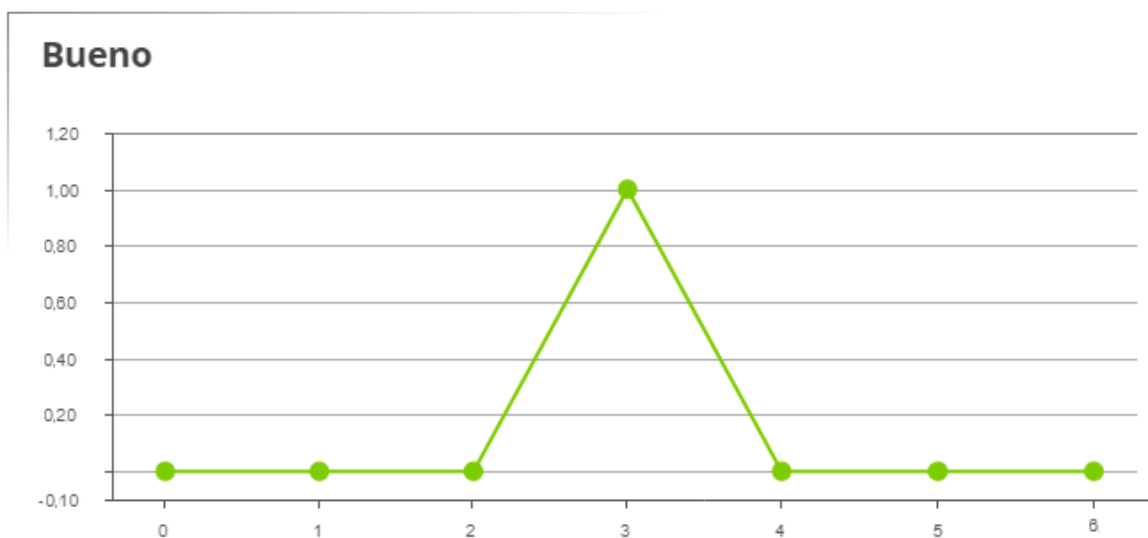


Ilustración 36 - Función de pertenencia etiqueta lingüística Bueno (salida modelo general), rango 2 – 4 (AUTOR)

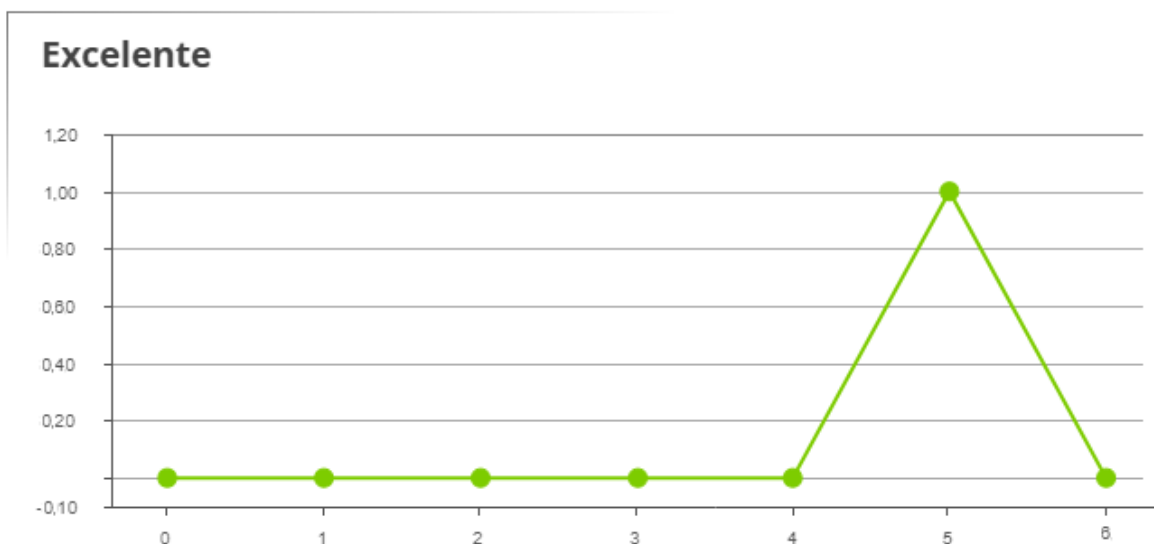


Ilustración 37 - Función de pertenencia etiqueta lingüística Excelente (salida modelo general), rango 4 - 6 (AUTOR)

9.5. DEFINICION DE LA BASE DE CONOCIMIENTO Y SUS REGLAS DE INFERENCIA

El proceso de inferencia en el sistema difuso utiliza las diferentes reglas definidas en el motor que provienen de la combinación de los conjuntos difusos de las diferentes variables de entrada las cuales arrojan un resultado (variable de salida). Para definir el resultado o las salidas de cada uno de los diferentes modelos del sistema se asume que todas las variables de las reglas tienen el mismo peso sin dar prioridad a ninguna para disminuir la complejidad en el análisis de los resultados. Se debe recalcar que para otorgar el peso e importancia diferentes a las variables se debería realizar un estudio estadístico para determinar cual tiene más importancia, según quien y para qué población; el cual sale completamente del alcance del presente proyecto. Por lo tanto se suponen los rangos y los datos para evitar entrar en ambigüedades y solo centrarse en demostrar el verdadero objetivo el proyecto.

Ahora bien, para demostrar la capacidad del sistema para poder cambiar su base de conocimiento, se implementaron 2 set de reglas para ser aplicadas en el sistema. Ambos sets representan una postura hipotética que puede llegar a tener una institución frente a la calidad docente:

En el primer set, se definieron las bases de conocimiento de los 4 modelos difusos (modelo estudiantes, modelo profesores, modelo consejo y modelo general) a las cuales se les aplico la siguiente política:

- Si en el formulario de evaluación se tiene 3 o más notas deficientes en alguno de los aspectos, inmediatamente tendrá como calificación en dicho formulario “Deficiente”.
- Si 2 o menos notas en el formulario de evaluación son “sobresaliente” y el resto “excelente”, la calificación que obtendrá en dicho formulario será “Excelente”.
- Para cualquier otro caso en las notas obtenidas en el formulario de evaluación, la calificación en dicho formulario será “bueno”.
- Para el modelo general, si se tiene 2 o más notas deficientes, la calificación será “Deficiente”.
- Para el modelo general, si tiene 2 o más notas Buenas, la calificación será “Bueno”
- Para el modelo general, si tiene 2 o más notas Excelentes, la calificación será “Excelente”

Aplicando estas políticas en los 4 diferentes modelos y realizando las combinaciones entre las variables de entrada y las etiquetas lingüísticas se obtuvieron las siguientes bases de conocimiento para el primer set:

- Modelo estudiantes: 102 reglas (Ver Anexo 4 - Base de conocimiento para el modelo del sistema difuso “Modelo estudiantes”).
- Modelo de profesores: 60 reglas (Ver Anexo 5 - Base de conocimiento para el modelo del sistema difuso “Modelo profesores”)
- Modelo de consejo: 60 reglas (Ver Anexo 6 - Base de conocimiento para el modelo del sistema difuso “Modelo consejo”)
- Modelo general: 24 reglas (Ver Anexo 7 - Base de conocimiento para el modelo del sistema difuso “Modelo general”)

Ahora bien, para el segundo set de reglas se modificara solamente la base de conocimiento del “modelo general” y las reglas para los demás modelos permanecerán iguales. Simplemente se simulara un escenario diferente al anterior el cual es más permisivo y laxo con la meta de alcanzar una calificación de “excelente” en la evaluación docente. Este cambio ejemplifica las diferentes necesidades que pueda presentar una institución al momento de definir sus estándares de calidad. En esta, se hace necesario solamente obtener una nota como excelente (sea por parte de la evaluación de estudiantes o de la evaluación e profesores o la evaluación del consejo de facultad) para tener una calificación “Excelente”. A diferencia que la base de conocimiento del modelo general del set 1 que se necesitan 2 notas excelentes para obtener una calificación de excelente.

Aplicando la anterior política, el set 2 de reglas para el modelo general estaría compuesto por la siguiente base de conocimiento:

- Modelo general: 21 reglas (Ver Anexo 8 - Base de conocimiento para el modelo del sistema difuso “Modelo general” para el set 2 de reglas).

Finalmente es de aclarar que las salidas de cada uno de los modelos anteriormente descritos se realizará a través del procedimiento del método del centroide donde a partir de un grado de pertenencia obtenido del proceso de inferencia del modelo se obtiene un área entre dicho valor de pertenencia y la o las etiquetas lingüísticas que dichas reglas estimulan (ver Ilustración 11 – Centroide del).

Como se puede observar en Ilustración 25 – Ilustración de sistema difuso general más sistemas difusos específicos., para el caso de los modelos de estudiante, profesores y consejo, las salidas de estos modelos convertirán en las entradas del modelo general. Finalmente, la salida del modelo general representará la calificación final y definitiva del profesor.

9.6. DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL MODELO DIFUSO

Teniendo en cuenta que el presente proyecto de grado no busca la creación de un sistema completo para el proceso de evaluación docente, solo busca validar la hipótesis de que a partir de un modelo basado en la lógica difusa en donde se permita cambiar fácilmente las reglas de su base de conocimiento se puede realizar dicha evaluación, se desarrolló una serie de vistas simples, pero que permiten legitimar de manera clara y sencilla el poder de la lógica difusa y sobre todo la facilidad en el manejo de un controlador difuso una vez se tenga construido.

La construcción del modelo fue basado en los tres cuestionarios que se realizan para llevar a cabo el proceso de evaluación docente en la Universidad Tecnológica de Pereira. Estos son: El cuestionario realizado por los estudiantes a cargo del profesor a evaluar, el cuestionario realizado por parte del jefe directo el docente y dos profesores del área y por último el cuestionario realizado por el consejo académico. Cada una de estas vistas es controlada por su respectivo modelo difuso anteriormente descrito.

Es importante aclarar que la solución implementada apunta a un modelo que recibe el resultado de diferentes modelos y procesa dicha información a través de la lógica difusa. En este caso, los diferentes modelos que entregan la información al central también son modelos difusos ya que la naturaleza de los elementos, en ellos evaluados, son de carácter subjetivo. Sin embargo, este tipo de solución permite que cualquier tipo de modelo pueda aportar una entrada al modelo difuso central al cual se le permitirá modificar su base de conocimiento según sea requerido.

The screenshot shows a window titled 'EstudiantesGUI' with a standard Windows-style title bar. Inside the window, there is a prominent orange header bar with the text 'Evaluación por parte de los estudiantes'. Below this, the form is organized into two main sections. The first section, titled 'Resultado por elemento', contains a list of seven evaluation criteria, each followed by a text input field that currently displays the number '0'. The criteria are: 'Capacidad metodológica para el desarrollo de los temas', 'Motivación, interés y relación con los estudiantes', 'Puntualidad', 'Cumplimiento de los objetos del curso y del plan de trabajo', 'Logros en el proceso de enseñanza y aprendizaje', 'Logros obtenidos en la asignación de tareas y proyectos', and 'Coherencia entre la evaluación y los objetivos del curso'. A 'Limpiar' button is located at the bottom right of this section. The second section, titled 'Base de conocimiento', contains two large buttons: 'Configurar' on the left and 'Calificar' on the right.

Evaluación por parte de los estudiantes	
Resultado por elemento	
Capacidad metodológica para el desarrollo de los temas	0
Motivación, interés y relación con los estudiantes	0
Puntualidad	0
Cumplimiento de los objetos del curso y del plan de trabajo	0
Logros en el proceso de enseñanza y aprendizaje	0
Logros obtenidos en la asignación de tareas y proyectos	0
Coherencia entre la evaluación y los objetivos del curso	0
	<button>Limpiar</button>
Base de conocimiento	
<button>Configurar</button>	<button>Calificar</button>

Ilustración 38 – Vista de resultados del cuestionario de evaluación a estudiantes.

The screenshot shows a software window titled "JefeGUI" with standard Windows window controls (maximize, minimize, close). The main content area has a purple header with the text "Evaluación por parte del jefe inmediato y dos profesores del área". Below this, there is a section titled "Resultado por elemento" which contains a list of six evaluation criteria, each with a corresponding input field showing the value "0". At the bottom of this section is a "Limpiar" button. Below the "Resultado por elemento" section is a "Base de conocimiento" section containing two buttons: "Configurar" and "Calificar".

Elemento	Resultado
Relaciones interpersonales	0
Responsabilidad en su trabajo academico	0
Pertenencia institucional	0
Presentación de propuestas	0
Planificación y cumplimiento de sus funciones ademicas	0
Produccion academica	0

Base de conocimiento

Configurar Calificar

Ilustración 39 - Vista de resultados del cuestionario de evaluación a jefe inmediato y dos profesores del área.

The screenshot shows a window titled "ConsejoGUI" with a standard Windows-style title bar. Inside the window, there is a green header bar with the text "Evaluación por parte del consejo de facultad". Below this, the form is organized into sections. The first section, "Resultado por elemento", contains a list of evaluation criteria, each with a corresponding input field showing the value "0". The criteria are: "Nivel de participación en grupos de trabajo", "Grado de pertinencia de sus propuestas y proyectos academicos para el desarrollo de su dependencia", "Participación en los eventos de carácter académico programados por la Universidad, Facultad, Departamento o Sección", "Informe de las actividades realizadas", "Cumplimiento del plan de trabajo", and "Realización de las tareas que le fueron asignadas en razón de la naturaleza de su cargo y directamente relacionada". A "Limpiar" button is located at the bottom right of this section. Below the "Resultado por elemento" section is a "Base de conocimiento" section, which contains two buttons: "Configurar" and "Calificar".

Resultado por elemento	
Nivel de participación en grupos de trabajo	0
Grado de pertinencia de sus propuestas y proyectos academicos para el desarrollo de su dependencia	0
Participación en los eventos de carácter académico programados por la Universidad, Facultad, Departamento o Sección	0
Informe de las actividades realizadas	0
Cumplimiento del plan de trabajo	0
Realización de las tareas que le fueron asignadas en razón de la naturaleza de su cargo y directamente relacionada	0
<button>Limpiar</button>	

Base de conocimiento	
<button>Configurar</button>	<button>Calificar</button>

Ilustración 40 - Vista de resultados del cuestionario de evaluación a consejo de facultad.

Adicionalmente, consta de una vista principal desde la cual se abre cada uno de los formularios y que muestra la calificación obtenida después de haber procesado los datos en el modelo difuso correspondiente. Esta vista es controlada por el modelo difuso general, el cual analiza los resultados de los tres modelos anteriores y entrega la calificación del docente.

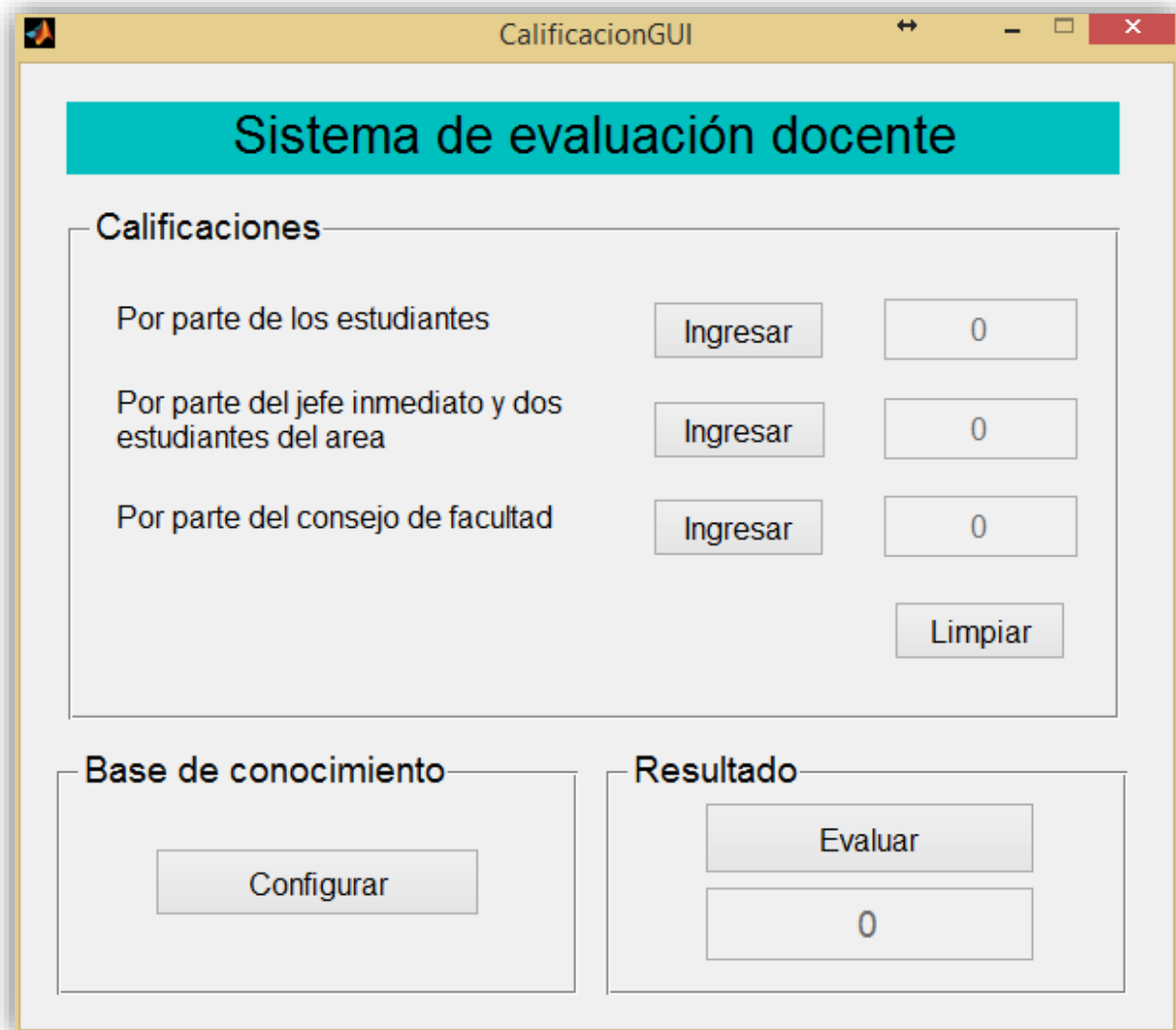


Ilustración 41 - Vista principal del sistema de evaluación docente.

Para finalizar, todas las vistas despliegan un pequeño panel de configuración desde el cual se pueden realizar las siguientes acciones:

- Modificar las reglas de cada modelo.
- Otorgar un nombre específico para cada set de reglas y guardarlas
- Cargar todo un set de reglas previamente configurado.

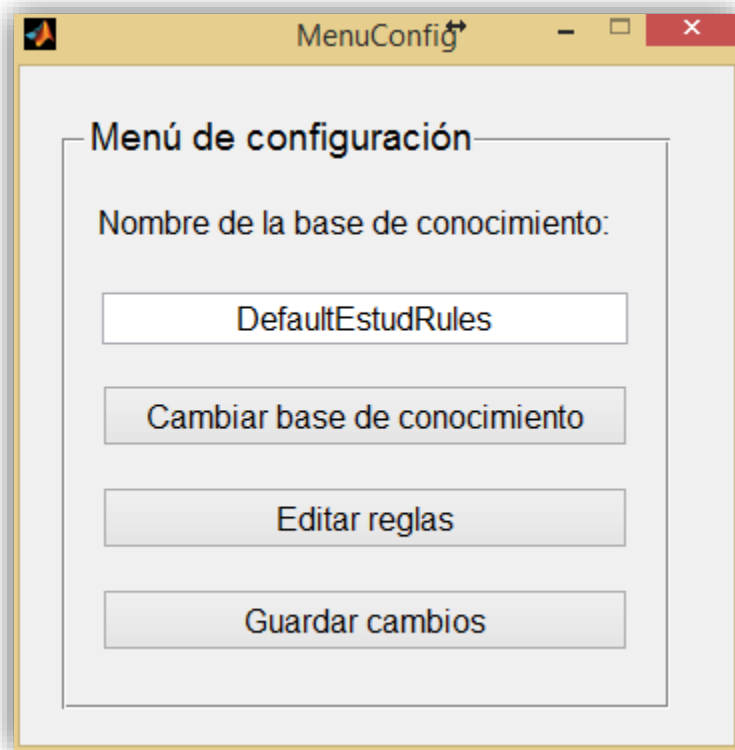


Ilustración 42 – Panel de configuración de los modelos difusos.

Se aclara que los valores de los campos de todos los formularios deben encontrarse en un rango entre 0 y 5. Esto se debe a que es la menor o mayor calificación que puede recibir un docente en cualquiera de los aspectos de la evaluación en cualquiera de los tres formularios.

Por último, el botón limpiar que se encuentra en cada vista permite reiniciar los valores de todos los campos del formulario.

9.7. SIMULACIÓN DEL MODELO Y ANALISIS DE RESULTADOS

Las pruebas para validar el modelo se realizaron con datos simulados ya que lo que se pretende dar a conocer es el funcionamiento de un modelo basado en lógica difusa con una base de conocimiento dinámica y que con esta se puede aplicar al método de obtención de resultados de la evaluación docente actual.

Para poder determinar la validez de la hipótesis planteada: "Aplicando un modelo de lógica difusa que permita cambiar en cualquier momento las reglas de su base de conocimiento se puede realizar la evaluación docente de las instituciones de orden superior", es necesario realizar algunas pruebas para observar el

comportamiento del modelo construido y poder apreciar los resultados que este arroja.

En este orden de ideas, a continuación se anunciara nuevamente el proceso de evaluación docente de la Universidad Tecnológica de Pereira, la cual es la entidad de orden superior que se ha tomado como base para referenciar las pruebas a realizar y posteriormente se enunciaran los datos con los que el sistema construido será probado.

El proceso inicia con el desarrollo de un cuestionario web por parte de los estudiantes matriculados en la asignatura que imparte el docente a evaluar. Cada estudiante tiene el deber de diligenciar el cuestionario de evaluación docente de cada materia que tiene matriculada en el semestre en cuestión. De esta forma un profesor es evaluado múltiples veces por sus alumnos. Sin embargo, un aplicativo ajeno a las funciones de este modelo recibe las múltiples evaluaciones y genera un ponderado de cada uno de los 7 aspectos que son evaluados al profesor; consiguiendo así los datos de la primer fuente para el proceso definitivo de evaluación docente.

La segunda fuente de información y segundo paso en el proceso es la valoración por parte del jefe directo del docente y dos compañeros del área. Este cuestionario consta de 12 ítems repartidos para 6 aspectos y solo se realiza una vez por docente. Y finalmente, la tercera fuente de información y paso final en el proceso es el cuestionario resuelto por el consejo de facultad la cual también consta de 6 aspectos.

Cada que finaliza el diligenciamiento de cada formulario se está listo para evaluar dicho formulario con su respectivo modelo difuso que se ha definido. Y por último, teniendo los resultados de los tres cuestionarios se puede iniciar la evaluación llevada a cabo por el modelo general.

Se da inicio a las pruebas del sistema construido:

- Set de reglas número 1:

Evaluación por parte de los estudiantes

En primer lugar se diligencia el formulario para la evaluación de los estudiantes y se evalúa con el modelo difuso de estudiantes. Se ingresan los siguientes valores y se evalúa:

Aspectos	Variable lingüística	Valores
Capacidad metodológica para el desarrollo de los temas	Metodología	4.6
Motivación, interés y relación con los estudiantes	Interés	4.6
Puntualidad	Puntualidad	4.3
Cumplimiento de los objetos del curso y del	Cumplimiento	4.5

plan de trabajo		
Logros en el proceso de enseñanza y aprendizaje	Proceso_enseñanza	4.8
Logros obtenidos en la asignación de tareas y proyectos	Tareas_proyectos	4.9
Coherencia entre la evaluación y los objetivos del curso	Coherencia	4.9

Tabla 5 - Valores cuestionario para el modelo difuso de estudiantes.

The screenshot shows a Java Swing window titled "EstudiantesGUI". Inside, there is a section titled "Evaluación por parte de los estudiantes". Below this, under the heading "Resultado por elemento", there is a list of evaluation criteria with corresponding numerical values in input fields:

- Capacidad metodológica para el desarrollo de los temas: 4.6
- Motivación, interés y relación con los estudiantes: 4.6
- Puntualidad: 4.3
- Cumplimiento de los objetos del curso y del plan de trabajo: 4.5
- Logros en el proceso de enseñanza y aprendizaje: 4.8
- Logros obtenidos en la asignación de tareas y proyectos: 4.9
- Coherencia entre la evaluación y los objetivos del curso: 4.9

Below the list is a "Limpiar" button. At the bottom of the window, under the heading "Base de conocimiento", there are two buttons: "Configurar" and "Calificar".

Ilustración 43 – Vista de cuestionario de estudiantes con los valores de la prueba.

A continuación se analizarán las reglas que son estimuladas en la fase de inferencia dentro del controlador difuso, según las entradas expuestas anteriormente.

Según el vector de entrada [4.6; 4.6; 4.3; 4.5; 4.8; 4.9; 4.9] en el controlador, se estimulan las siguientes reglas:

Abreviaciones de variables lingüísticas:

- Metodología: MET
- Interés: INT
- Puntualidad: PUN
- Cumplimiento: CUM
- Proceso_enseñanza: P_E
- Tareas_proyectos: T_P
- Coherencia: COH

Resultados de las reglas:

Set 1. Estudi antes	MET	op	INT	op	PUN	op	CUM	op	P_E	op	T_P	op	COH	op	Resul tado
Entrad a	4.6		4.6		4.3		4.5		4.8		4.9		4.9		
Regla 71	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Exc	Then	Exc
Regla 72	Sob	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Exc	Then	Exc
Regla 73	Exc	&	Sob	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Exc	Then	Exc
Regla 74	Exc	&	Exc	&	Sob	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Exc	Then	Exc
Regla 75	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Sob	&	Exc	&	Exc	&	Exc	Then	Exc
Regla 76	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Sob	&	Exc	&	Exc	Then	Exc
Regla 77	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Sob	&	Exc	Then	Exc
Regla 78	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Sob	Then	Exc
Regla 79	Sob	&	Sob	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Exc	Then	Exc
Regla 80	Sob	&	Exc	&	Sob	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Exc	Then	Exc
Regla 81	Sob	&	Exc	&	Exc	&	Sob	&	Exc	&	Exc	&	Exc	Then	Exc
Regla 82	Sob	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Sob	&	Exc	&	Exc	Then	Exc
Regla 83	Sob	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Sob	&	Exc	Then	Exc
Regla 84	Sob	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Sob	Then	Exc
Regla 85	Exc	&	Sob	&	Sob	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Exc	Then	Exc
Regla 86	Exc	&	Sob	&	Exc	&	Sob	&	Exc	&	Exc	&	Exc	Then	Exc
Regla 87	Exc	&	Sob	&	Exc	&	Exc	&	Sob	&	Exc	&	Exc	Then	Exc
Regla 88	Exc	&	Sob	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Sob	&	Exc	Then	Exc
Regla 89	Exc	&	Sob	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Sob	Then	Exc
Regla 90	Exc	&	Exc	&	Sob	&	Sob	&	Exc	&	Exc	&	Exc	Then	Exc

Regla 91	Exc	&	Exc	&	Sob	&	Exc	&	Sob	&	Exc	&	Exc	Then	Exc
Regla 92	Exc	&	Exc	&	Sob	&	Exc	&	Exc	&	Sob	&	Exc	Then	Exc
Regla 93	Exc	&	Exc	&	Sob	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Sob	Then	Exc
Regla 94	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Sob	&	Sob	&	Exc	&	Exc	Then	Exc
Regla 95	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Sob	&	Exc	&	Sob	&	Exc	Then	Exc
Regla 96	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Sob	&	Exc	&	Exc	&	Sob	Then	Exc
Regla 97	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Sob	&	Sob	&	Exc	Then	Exc
Regla 98	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Sob	&	Exc	&	Sob	Then	Exc
Regla 99	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Sob	&	Sob	Then	Exc
Regla 101	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Exc	&	Exc	Then	Exc
Regla 102	Sob	&	Sob	&	Sob	&	Sob	&	Sob	&	Sob	&	Sob	Then	Bue

Tabla 6 - Estimulación de reglas para el modelo difuso de estudiantes.

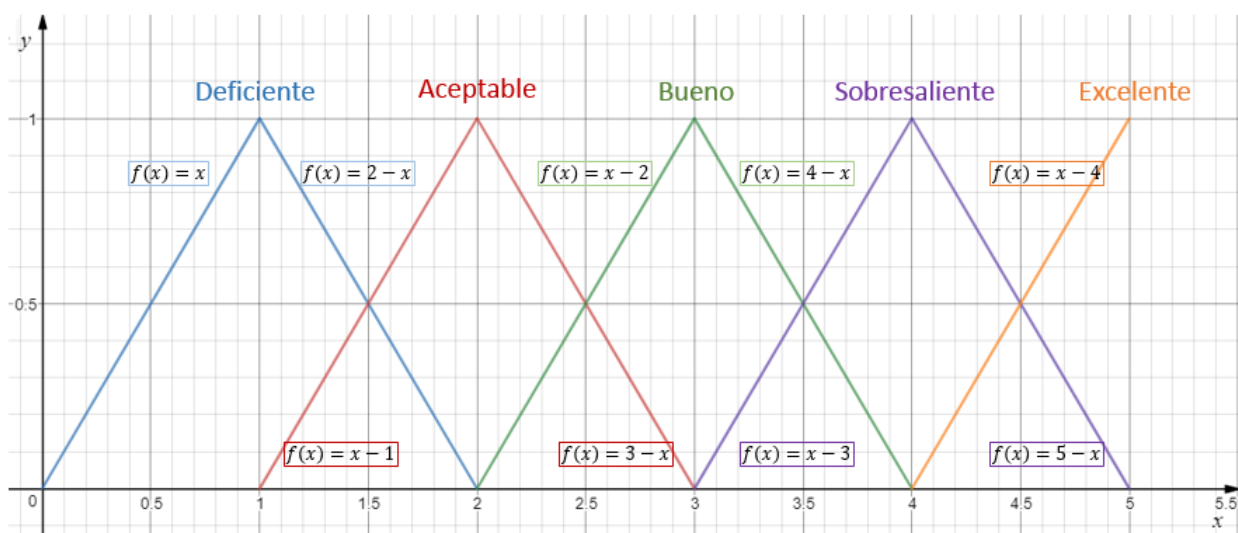


Ilustración 44 – Ecuaciones de las funciones de pertenencia de las etiquetas lingüísticas de las variables de entrada.

A partir de las ecuaciones de la Ilustración 44 – Ecuaciones de las funciones de pertenencia de las etiquetas lingüísticas de las variables de entrada. Se obtienen los valores del grado de pertenencia para cada una de las entradas del formulario de estudiantes. A continuación se procede a analizar cada una de las entradas y seguidamente analizar cuál es la salida de cada una de las reglas estimuladas teniendo en cuenta el vector de entrada [4.6; 4.6; 4.3; 4.5; 4.8; 4.9; 4.9]:

Entrada: Metodología. Valor: 4.6

Toca la etiqueta lingüística Sobresaliente cuya ecuación es $f(x) = 5 - x$ por lo tanto tiene un grado de pertenencia a esta etiqueta de $f(4.6) = 0.4$

Toca la etiqueta lingüística Excelente cuya ecuación es $f(x) = x - 4$ por lo tanto tiene un grado de pertenencia a esta etiqueta de $f(4.6) = 0.6$

Entrada: Interés. Valor: 4.6

Toca la etiqueta lingüística Sobresaliente cuya ecuación es $f(x) = 5 - x$ por lo tanto tiene un grado de pertenencia a esta etiqueta de $f(4.6) = 0.4$

Toca la etiqueta lingüística Excelente cuya ecuación es $f(x) = x - 4$ por lo tanto tiene un grado de pertenencia a esta etiqueta de $f(4.6) = 0.6$

Entrada: Puntualidad. Valor: 4.3

Toca la etiqueta lingüística Sobresaliente cuya ecuación es $f(x) = 5 - x$ por lo tanto tiene un grado de pertenencia a esta etiqueta de $f(4.3) = 0.7$

Toca la etiqueta lingüística Excelente cuya ecuación es $f(x) = x - 4$ por lo tanto tiene un grado de pertenencia a esta etiqueta de $f(4.3) = 0.3$

Entrada: Cumplimiento. Valor: 4.5

Toca la etiqueta lingüística Sobresaliente cuya ecuación es $f(x) = 5 - x$ por lo tanto tiene un grado de pertenencia a esta etiqueta de $f(4.5) = 0.5$

Toca la etiqueta lingüística Excelente cuya ecuación es $f(x) = x - 4$ por lo tanto tiene un grado de pertenencia a esta etiqueta de $f(4.5) = 0.5$

Entrada: Proceso_enseñanza. Valor: 4.8

Toca la etiqueta lingüística Sobresaliente cuya ecuación es $f(x) = 5 - x$ por lo tanto tiene un grado de pertenencia a esta etiqueta de $f(4.8) = 0.2$

Toca la etiqueta lingüística Excelente cuya ecuación es $f(x) = x - 4$ por lo tanto tiene un grado de pertenencia a esta etiqueta de $f(4.8) = 0.8$

Entrada: Tareas_proyectos. Valor: 4.9

Toca la etiqueta lingüística Sobresaliente cuya ecuación es $f(x) = 5 - x$ por lo tanto tiene un grado de pertenencia a esta etiqueta de $f(4.9) = 0.1$

Toca la etiqueta lingüística Excelente cuya ecuación es $f(x) = x - 4$ por lo tanto tiene un grado de pertenencia a esta etiqueta de $f(4.9) = 0.9$

Entrada: Coherencia. Valor: 4.9

Toca la etiqueta lingüística Sobresaliente cuya ecuación es $f(x) = 5 - x$ por lo tanto tiene un grado de pertenencia a esta etiqueta de $f(4.9) = 0.1$

Toca la etiqueta lingüística Excelente cuya ecuación es $f(x) = x - 4$ por lo tanto tiene un grado de pertenencia a esta etiqueta de $f(4.9) = 0.9$

A continuación se analizan todas las reglas estimuladas para obtener el resultado para el modelo difuso:

Grados de pertenencia:

Set 1. Estudiant es	MET	op	INT	op	PUN	op	CUM	op	P_E	op	T_P	op	COH	op	Resul tado
Entrada	4.6		4.6		4.3		4.5		4.8		4.9		4.9		
Regla 71	0.6	&	0.6	&	0.3	&	0.5	&	0.8	&	0.9	&	0.9	Then	0.3
Regla 72	0.4	&	0.6	&	0.3	&	0.5	&	0.8	&	0.9	&	0.9	Then	0.3
Regla 73	0.6	&	0.4	&	0.3	&	0.5	&	0.8	&	0.9	&	0.9	Then	0.3
Regla 74	0.6	&	0.6	&	0.7	&	0.5	&	0.8	&	0.9	&	0.9	Then	0.5
Regla 75	0.6	&	0.6	&	0.3	&	0.5	&	0.8	&	0.9	&	0.9	Then	0.3
Regla 76	0.6	&	0.6	&	0.3	&	0.5	&	0.2	&	0.9	&	0.9	Then	0.2
Regla 77	0.6	&	0.6	&	0.3	&	0.5	&	0.8	&	0.1	&	0.1	Then	0.1
Regla 78	0.6	&	0.6	&	0.3	&	0.5	&	0.8	&	0.9	&	0.9	Then	0.3
Regla 79	0.4	&	0.4	&	0.3	&	0.5	&	0.8	&	0.9	&	0.9	Then	0.3
Regla 80	0.4	&	0.6	&	0.7	&	0.5	&	0.8	&	0.9	&	0.9	Then	0.4
Regla 81	0.4	&	0.6	&	0.3	&	0.5	&	0.8	&	0.9	&	0.9	Then	0.3
Regla 82	0.4	&	0.6	&	0.3	&	0.5	&	0.2	&	0.9	&	0.9	Then	0.2
Regla 83	0.4	&	0.6	&	0.3	&	0.5	&	0.8	&	0.1	&	0.1	Then	0.1
Regla 84	0.4	&	0.6	&	0.3	&	0.5	&	0.8	&	0.9	&	0.9	Then	0.3
Regla 85	0.6	&	0.4	&	0.7	&	0.5	&	0.8	&	0.9	&	0.9	Then	0.4
Regla 86	0.6	&	0.4	&	0.3	&	0.5	&	0.8	&	0.9	&	0.9	Then	0.3
Regla 87	0.6	&	0.4	&	0.3	&	0.5	&	0.2	&	0.9	&	0.9	Then	0.2
Regla 88	0.6	&	0.4	&	0.3	&	0.5	&	0.8	&	0.1	&	0.1	Then	0.1
Regla 89	0.6	&	0.4	&	0.3	&	0.5	&	0.8	&	0.9	&	0.9	Then	0.3
Regla 90	0.6	&	0.6	&	0.7	&	0.5	&	0.8	&	0.9	&	0.9	Then	0.5
Regla 91	0.6	&	0.6	&	0.7	&	0.5	&	0.2	&	0.9	&	0.9	Then	0.2
Regla 92	0.6	&	0.6	&	0.7	&	0.5	&	0.8	&	0.1	&	0.1	Then	0.1
Regla 93	0.6	&	0.6	&	0.7	&	0.5	&	0.8	&	0.9	&	0.9	Then	0.5
Regla 94	0.6	&	0.6	&	0.3	&	0.5	&	0.2	&	0.9	&	0.9	Then	0.2
Regla 95	0.6	&	0.6	&	0.3	&	0.5	&	0.8	&	0.1	&	0.1	Then	0.1
Regla 96	0.6	&	0.6	&	0.3	&	0.5	&	0.8	&	0.9	&	0.9	Then	0.3
Regla 97	0.6	&	0.6	&	0.3	&	0.5	&	0.2	&	0.1	&	0.1	Then	0.1
Regla 98	0.6	&	0.6	&	0.3	&	0.5	&	0.2	&	0.9	&	0.9	Then	0.2
Regla 99	0.6	&	0.6	&	0.3	&	0.5	&	0.8	&	0.1	&	0.1	Then	0.1
Regla 101	0.6	&	0.6	&	0.3	&	0.5	&	0.8	&	0.9	&	0.9	Then	0.3
Regla 102	0.4	&	0.4	&	0.7	&	0.5	&	0.2	&	0.1	&	0.1	Then	0.1

Tabla 7 - Grados de pertenencia a los conjuntos difusos para el modelo de estudiantes.

Ahora bien, teniendo en cuenta los resultados de las reglas estimuladas y aplicando dichos grados de pertenencia en la salida del modelo difuso, se obtiene la siguiente área (proceso de desfuzzyficación):

Para las reglas cuyo resultado es excelente:

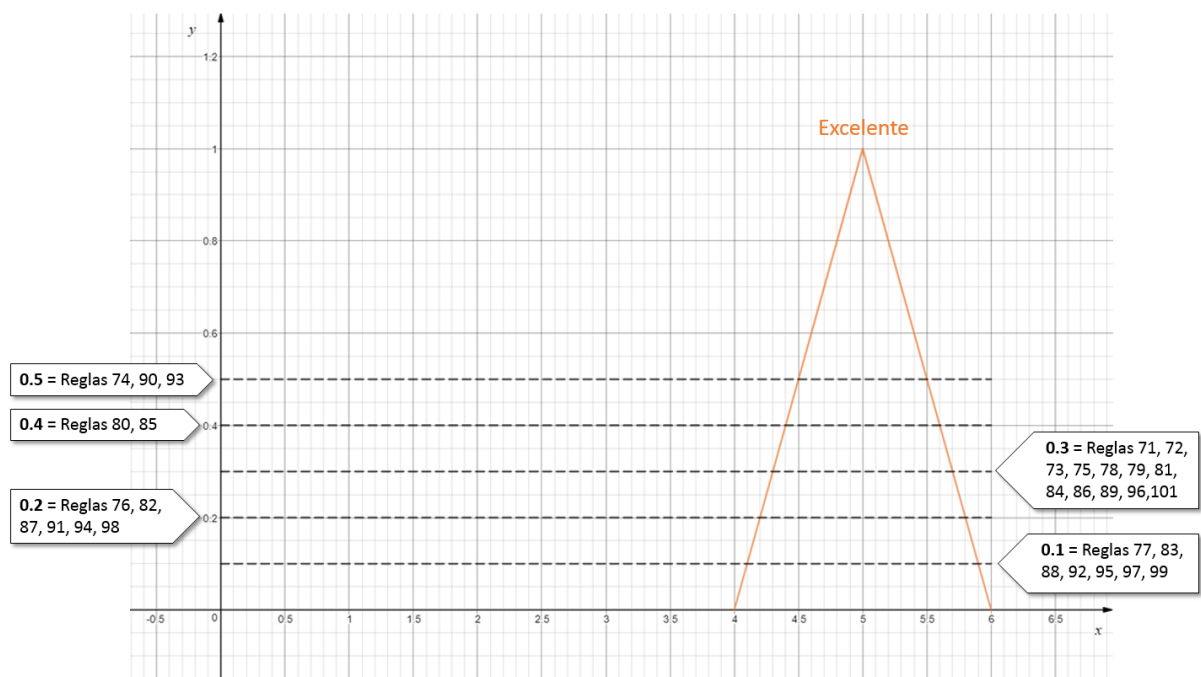


Ilustración 45 – Resultado de las reglas estimuladas para el modelo difuso de estudiantes en la etiqueta lingüística “Excelente”

Para las reglas cuyo resultado es bueno:

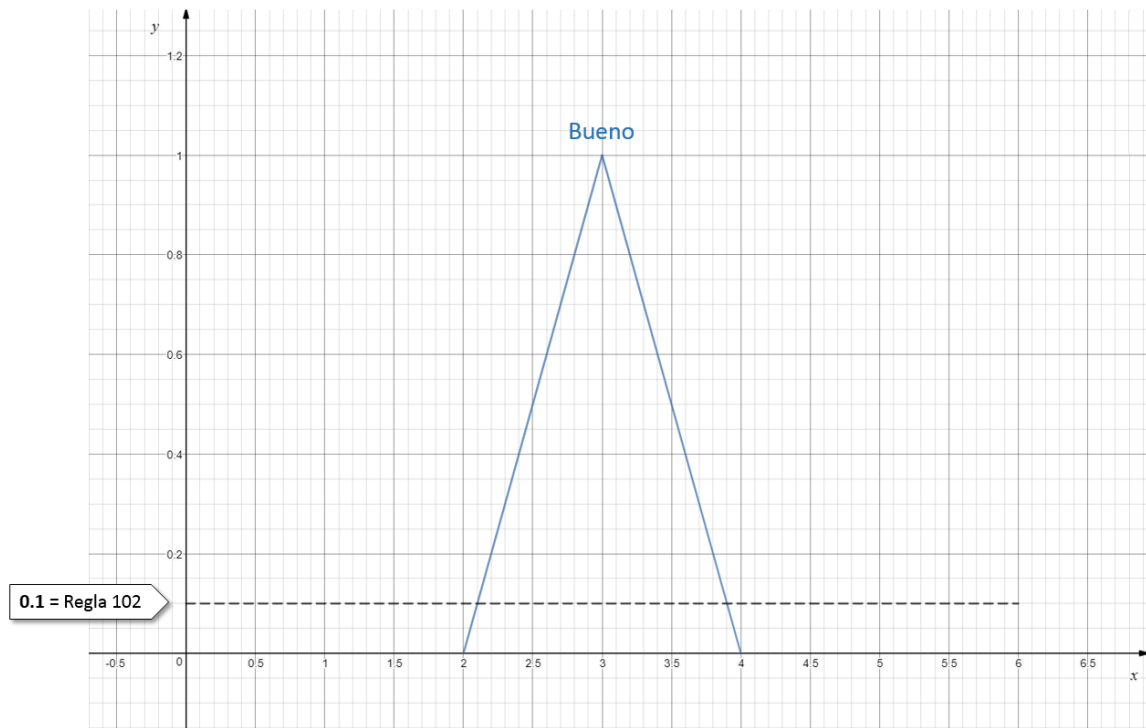


Ilustración 46 – Resultado de las reglas estimuladas para el modelo difuso de estudiantes en la etiqueta lingüística “Bueno”

Ahora se realiza la superposición de las gráficas estimuladas por las reglas obteniéndose un polígono final al que se le aplicará el método de desfuzzyficación Centroide obteniendo de esta manera el resultado de la evaluación por parte de los estudiantes.

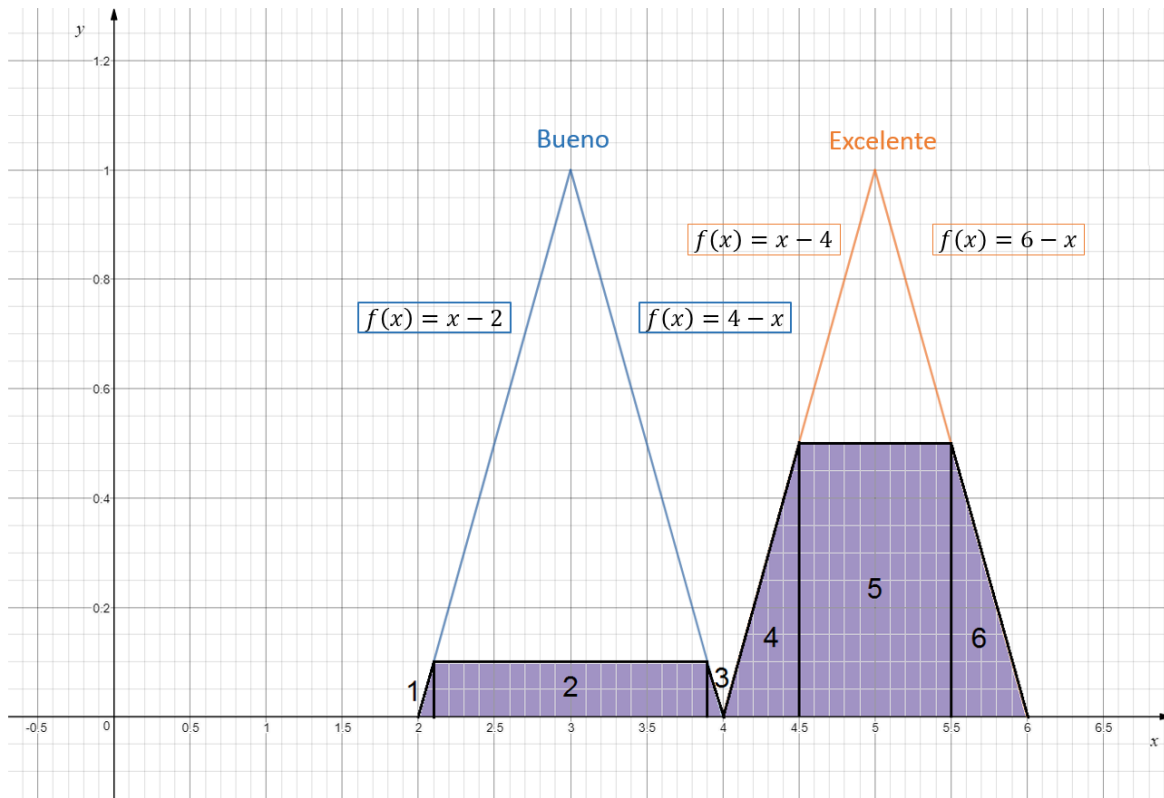


Ilustración 47 – Superposición de las gráficas resultantes en el modelo difuso de estudiantes.

A partir de la ilustración anterior se procede a calcular de forma manual el centroide del polígono calculando el área y el centroide de cada una de las figuras que se muestran en la ilustración:

Calculo de las áreas 1 a 6:

- Área 1 = 0.005
- Área 2 = 0.18
- Área 3 = 0.005
- Área 4 = 0.125
- Área 5 = 0.5
- Área 6 = 0.125

Área total = 0.94

Calculo de centroide de las figuras 1 a 6:

Tomando la **ecuación 10** y aplicándola a la figura obtenida se tiene la siguiente operación

$$\bar{x} = \frac{\int_a^b \mu(x) * x dx}{A}$$

$$= \frac{\int_2^{2.1} (x-2) * x dx + \int_{2.1}^{3.9} (0.1) * x dx + \int_{3.9}^4 (4-x) * x dx + \int_4^{4.5} (x-4) * x dx + \int_{4.5}^{5.5} (0.5) * x dx + \int_{5.5}^6 (6-x) * x dx}{A}$$

$$\bar{x} = \frac{0.01033 + 0.54 + 0.01967 + 0.54167 + 2.5 + 0.70833}{0.94} = 4.5957$$

Por lo tanto, la calificación obtenida por el docente en la evaluación por parte de los estudiantes es **4.5957**

Evaluación por parte del jefe inmediato y dos profesores del área

Seguidamente se diligencia el formulario para la evaluación por parte del jefe inmediato y dos profesores del área y se evalúa con el modelo difuso de profesores. Se ingresan los siguientes valores y se evalúa:

Aspectos	Variable lingüística	Valores
Relaciones interpersonales	Relaciones	3.9
Responsabilidad en su trabajo académico	Responsabilidad	3.5
Pertenencia institucional	Pertenencia	3.8
Presentación de propuestas	Propuestas	3.5
Planificación y cumplimiento de sus funciones académicas	Cumplimiento	3.6
Producción académica	Producción	3.7

Tabla 8 – Valores cuestionario modelo difuso profesores

Evaluación por parte del jefe inmediato y dos profesores del área

Resultado por elemento	
Relaciones interpersonales	3.9
Responsabilidad en su trabajo academico	3.5
Pertenencia institucional	3.8
Presentación de propuestas	3.5
Planificación y cumplimiento de sus funciones ademicas	3.6
Produccion academica	3.7

Limpiar

Base de conocimiento

Configurar Calificar

Ilustración 48 - Vista de cuestionario de profesores con los valores de la prueba

A continuación se analizarán las reglas que son estimuladas en la fase de inferencia dentro del controlador difuso, según las entradas expuestas anteriormente.

Según el vector de entrada [3.9; 3.5; 3.8; 3.5; 3.6; 3.7] en el controlador, se estimulan las siguientes reglas:

Abreviaciones de variables lingüísticas:

- Relaciones: REL
- Responsabilidad: RES
- Pertenencia: PER
- Propuestas: PRO
- Cumplimiento: CUM
- Producción: PROD

Reglas estimuladas

Reglas estimuladas

Set 1. Profesores	REL	op	RES	op	PER	op	PRO	op	CUM	op	PROD	op	Resultado
Entrada	3.9		3.5		3.8		3.5		3.6		3.7		
Regla 58	Sob	&	Sob	&	Sob	&	Sob	&	Sob	&	Sob	Then	Bue
Regla 59	Bue	&	Bue	&	Bue	&	Bue	&	Bue	&	Bue	Then	Bue

Tabla 9 - Estimulación de reglas para el modelo difuso de profesores.

Teniendo en cuenta que las funciones de pertenencia de las etiquetas lingüísticas para este modelo son las mismas descritas para el modelo anterior (ver ilustración 40) se obtiene la siguiente tabla:

Set 1. Profesores	REL	op	RES	op	PER	op	PRO	op	CUM	op	PROD	op	Resultado
Entrada	3.9		3.5		3.8		3.5		3.6		3.7		
Regla 58	0.9	&	0.5	&	0.8	&	0.5	&	0.6	&	0.7	Then	0.5
Regla 59	0.1	&	0.5	&	0.2	&	0.5	&	0.4	&	0.3	Then	0.1

Tabla 10 - Grados de pertenencia a los conjuntos difusos para el modelo de profesores

Teniendo en cuenta los resultados de las reglas estimuladas y aplicando dichos grados de pertenencia en la salida del modelo difuso, se obtiene la siguiente área (proceso de desfuzzyficación):

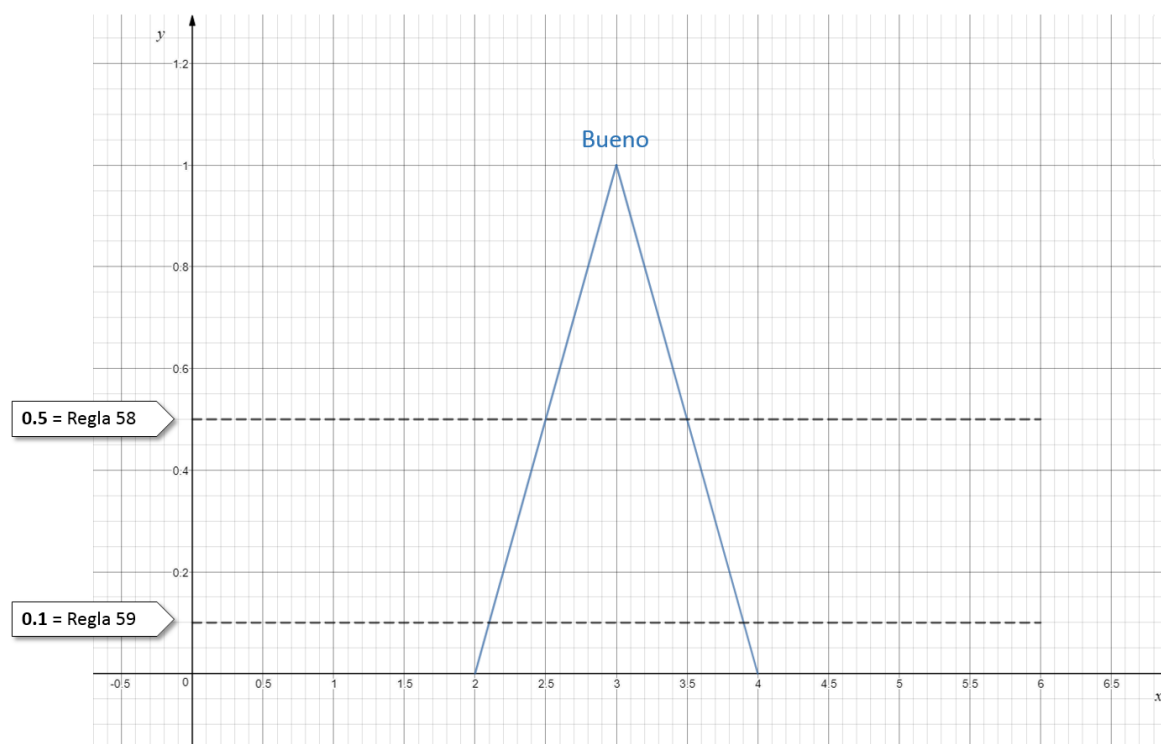


Ilustración 49 - Resultado de las reglas estimuladas para el modelo difuso de profesores en la etiqueta lingüística “Bueno”.

El polígono obtenido por la superposición de los resultados es el siguiente:

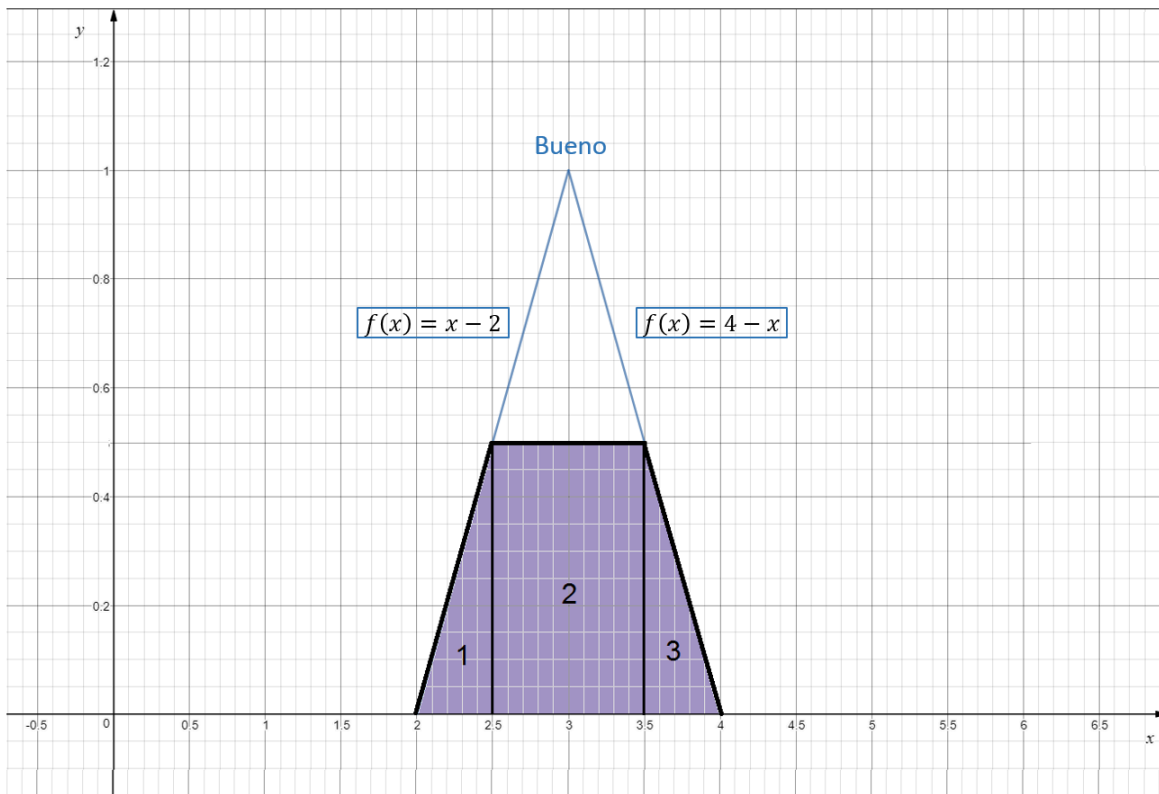


Ilustración 50 - Superposición de las gráficas resultantes en el modelo difuso de profesores.

A partir de la ilustración anterior se procede a calcular de forma manual el centroide del polígono calculando el área y el centroide de cada una de las figuras que se muestran en la ilustración:

Calculo de las áreas 1 a 3:

- Área 1 = 0.125
- Área 2 = 0.5
- Área 3 = 0.125

Área total = 0.75

Calculo de centroide de las figuras 1 a 3:

Tomando la **ecuación 10** y aplicándola a la figura obtenida se tiene la siguiente operación

$$\bar{x} = \frac{\int_a^b \mu(x) * x dx}{A}$$

$$= \frac{\int_2^{2.5} (x - 2) * x dx + \int_{2.5}^{3.5} (0.5) * x dx + \int_{3.5}^4 (4 - x) * x dx}{A}$$

$$\bar{x} = \frac{0.29167 + 1.5 + 0.45833}{0.75} = 3$$

Por lo tanto, la calificación obtenida por el docente en la evaluación por parte del jefe inmediato y los dos profesores del área es **3**

Evaluación por parte del consejo de facultad

Seguidamente se diligencia el formulario para la evaluación por parte del consejo de facultad y se evalúa con el modelo difuso de consejo. Se ingresan los siguientes valores y se evalúa:

Aspectos	Variable lingüística	Valores
Nivel de participación en grupos de trabajo	Participacion_grupos	3.82
Grado de pertinencia de sus propuestas y proyectos académicos para el desarrollo de su dependencia	Pertinencia	4.16
Participación en los eventos de carácter académico programados por la Universidad, Facultad, Departamento o Sección	Participacion_eventos	4.19
Informe de las actividades realizadas	Informes	3.83
Cumplimiento del plan de trabajo	Cumplimiento	4.19
Realización de las tareas que le fueron asignadas en razón de la naturaleza de su cargo y directamente relacionada con la Misión de la Universidad	Tareas_asignadas	4.19

Tabla 11 - Valores cuestionario modelo difuso consejo.

Evaluación por parte del consejo de facultad

Resultado por elemento

Nivel de participación en grupos de trabajo	3.82
Grado de pertinencia de sus propuestas y proyectos académicos para el desarrollo de su dependencia	4.16
Participación en los eventos de carácter académico programados por la Universidad, Facultad, Departamento o Sección	4.19
Informe de las actividades realizadas	3.83
Cumplimiento del plan de trabajo	4.19
Realización de las tareas que le fueron asignadas en razón de la naturaleza de su cargo y directamente relacionada	4.19
	<input type="button" value="Limpiar"/>

Base de conocimiento

Ilustración 51 - Vista de cuestionario de consejo de facultad con los valores de la prueba

A continuación se analizarán las reglas que son estimuladas en la fase de inferencia dentro del controlador difuso, según las entradas expuestas anteriormente.

Según el vector de entrada [3.82; 4.16; 4.19; 3.83; 4.16; 4.16] en el controlador, se estimulan las siguientes reglas:

Abreviaciones de variables lingüísticas:

- Participacion_grupos: P_G
- Pertenencia: PER
- Participacion_eventos: P_E
- Informes: INF
- Cumplimiento: CUM
- Tareas_asignadas: T_A

Reglas estimuladas

Set 1. Consejo	P_G	op	PER	op	P_E	op	INF	op	CUM	op	T_A	op	Resultado
Entrada	3.82		4.16		4.19		3.83		4.19		4.19		
Regla 30	Sob	&	Exc	&	Exc	&	Sob	&	Exc	&	Exc	Then	Exc
Regla 58	Sob	&	Sob	&	Sob	&	Sob	&	Sob	&	Sob	Then	Bue

Tabla 12 - Estimulación de reglas para el modelo difuso de consejo de facultad.

Teniendo en cuenta que las funciones de pertenencia de las etiquetas lingüísticas para este modelo son las mismas descritas para el modelo anterior (ver ilustración 40) se obtiene la siguiente tabla:

Set 1. Consejo	P_G	op	PER	op	P_E	op	INF	op	CUM	op	T_A	op	Resultado
Entrada	3.82		4.16		4.19		3.83		4.19		4.19		
Regla 30	0.82	&	0.16	&	0.19	&	0.83	&	0.19	&	0.19	Then	0.16
Regla 58	0.82	&	0.84	&	0.81	&	0.83	&	0.81	&	0.81	Then	0.81

Tabla 13 - Grados de pertenencia a los conjuntos difusos para el modelo de consejo de facultad.

Teniendo en cuenta los resultados de las reglas estimuladas y aplicando dichos grados de pertenencia en la salida del modelo difuso, se obtiene la siguiente área (proceso de desfuzzyficación):

Para reglas cuyo resultado es excelente:

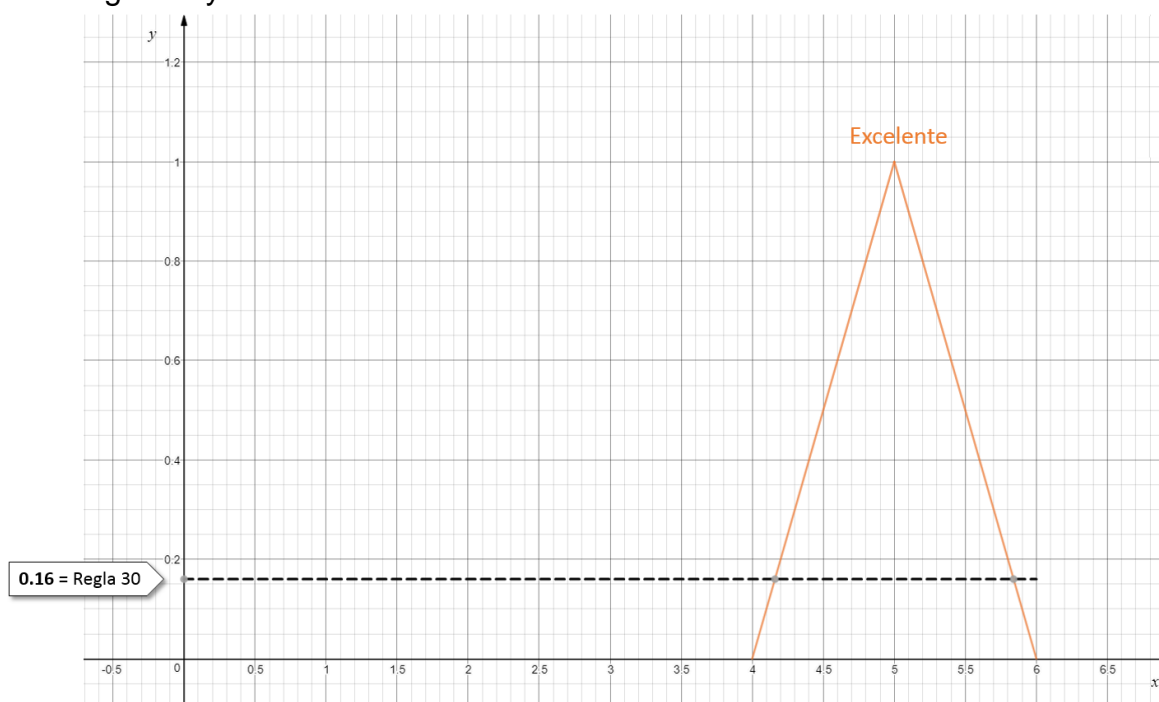


Ilustración 52 - Resultado de las reglas estimuladas para el modelo difuso de consejo en la etiqueta lingüística “Excelente”.

Para reglas cuyo resultado es bueno:

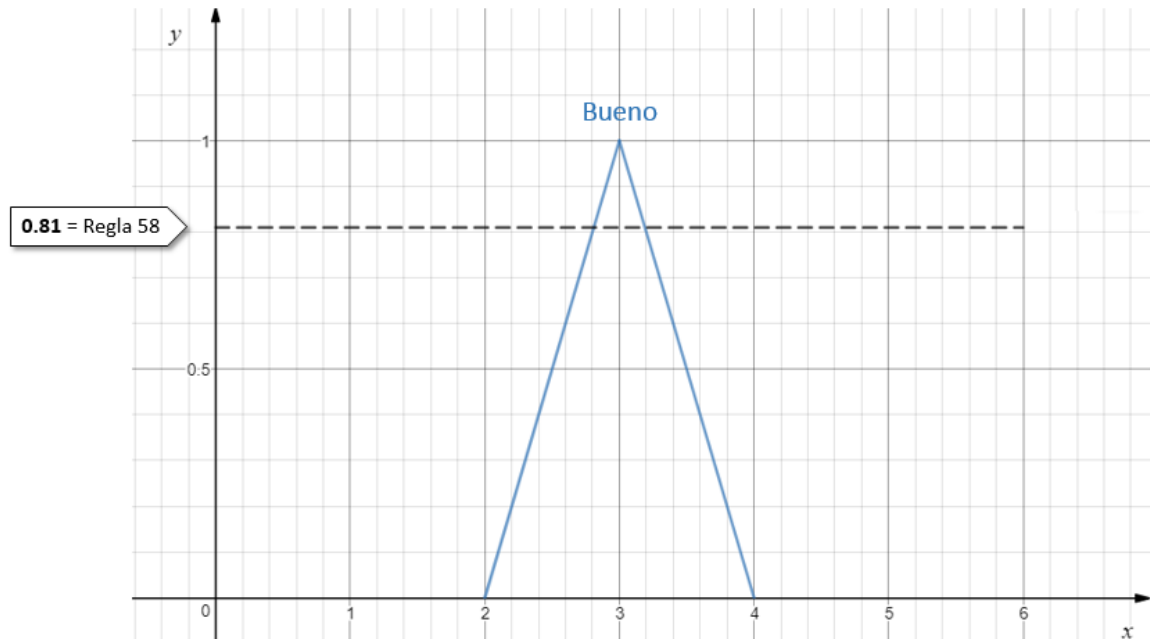


Ilustración 53 - Resultado de las reglas estimuladas para el modelo difuso de consejo en la etiqueta lingüística “Bueno”.

El polígono obtenido por la superposición de los resultados es el siguiente:

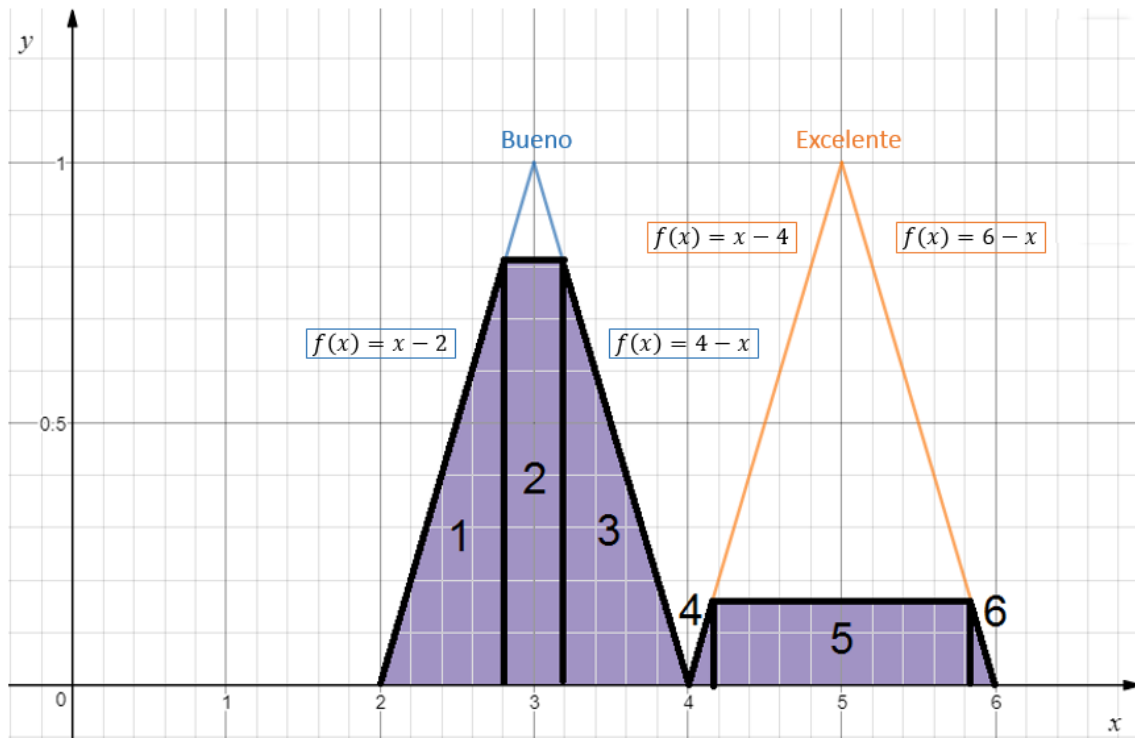


Ilustración 54 - Superposición de las gráficas resultantes en el modelo difuso de consejo.

A partir de la ilustración anterior se procede a calcular de forma manual el centroide del polígono calculando el área y el centroide de cada una de las figuras que se muestran en la ilustración:

Calculo de las áreas 1 a 6:

- Área 1 = 0.3281
- Área 2 = 0.3078
- Área 3 = 0.3281
- Área 4 = 0.0128
- Área 5 = 0.264
- Área 6 = 0.0128

Área total = 1.2536

Calculo de centroide de las figuras 1 a 6:

Tomando la **ecuación 10** y aplicándola a la figura obtenida se tiene la siguiente operación

$$\bar{x} = \frac{\int_a^b \mu(x) * x dx}{A}$$

$$= \frac{\int_2^{2.81} (x-2) * x dx + \int_{2.81}^{3.19} (0.81) * x dx + \int_{3.19}^4 (4-x) * x dx + \int_4^{4.16} (x-4) * x dx + \int_{4.16}^{5.84} (0.16) * x dx + \int_{5.84}^6 (6-x) * x dx}{A}$$

$$\bar{x} = \frac{0.8333 + 0.9234 + 1.1351 + 0.0526 + 1.344 + 0.0754}{1.2536} = 3.481$$

Por lo tanto, la calificación obtenida por el docente en la evaluación por parte del consejo de facultad es **3.481**

Evaluación general del modelo

Para finalizar, ahora que se tienen los resultados de los tres formularios de la evaluación docente, se puede proceder con el análisis con el modelo general teniendo en cuenta que los resultados de los tres modelos anteriores son las entradas del modelo general. Se ingresan los siguientes valores y se evalúa:

Aspectos	Variable lingüística	Valores
Resultado de la calificación obtenida por la encuesta por parte de los estudiantes	EvaEstudiantes	4.5957
Resultado de la calificación obtenida por la encuesta por parte del jefe directo y los 2 profesores del área	EvaProfesorYJefe	3
Resultado de la calificación obtenida por la encuesta por parte consejo de facultad	EvaConsejo	3.481

Tabla 14 - Valores cuestionario modelo general.

A continuación se analizarán las reglas que son estimuladas en la fase de inferencia dentro del controlador difuso, según las entradas expuestas anteriormente para el modelo general.

Según el vector de entrada [4.5957; 3; 3.481] en el controlador, se estimulan las siguientes reglas:

Abreviaciones de variables lingüísticas:

- EvaEstudiantes: Estudiantes
- EvaProfesorYJefe: Profesores
- EvaConsejo: Consejo

Set 1. general	Estudiantes	op	Profesores	op	Consejo	op	Resultado
Entrada	4.5957		3		3.481		
Regla 11	Bue	&	Bue	&	Bue	Then	Bue
Regla 18	Bue	&	Bue	&	Exc	Then	Bue
Regla 19	Bue	&	Exc	&	Bue	Then	Bue

Regla 20	Exc	&	Bue	&	Bue	Then	Bue
Regla 21	Exc	&	Exc	&	Bue	Then	Exc
Regla 22	Bue	&	Exc	&	Exc	Then	Exc
Regla 23	Exc	&	Bue	&	Exc	Then	Exc
Regla 24	Exc	&	Exc	&	Exc	Then	Exc

Tabla 15 - Estimulación de reglas para el modelo difuso general.

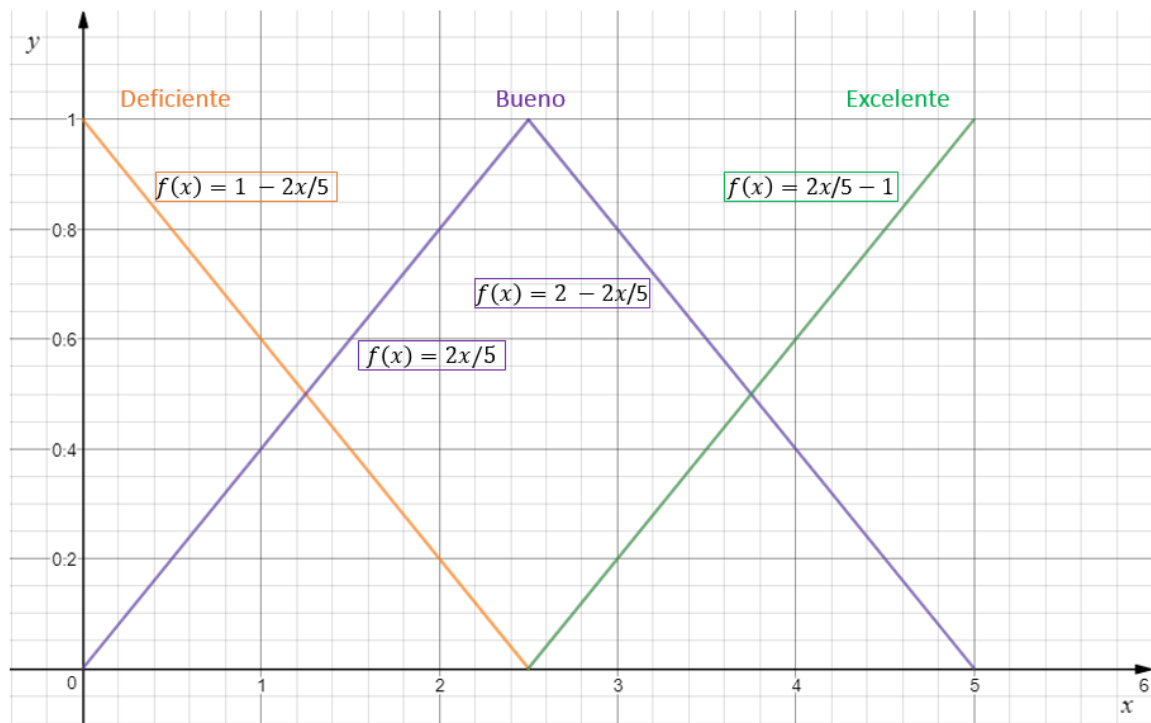


Ilustración 55 - Ecuaciones de las funciones de pertenencia de las etiquetas lingüísticas de las variables de entrada del modelo general.

A continuación se analizan todas las reglas estimuladas para obtener el resultado para el modelo difuso:

Set 1. general	Estudiantes	op	Profesores	op	Consejo	op	Resultado
Entrada	4.5957		3		3.481		
Regla 11	0.1617	&	0.8	&	0.6076	Then	0.1617
Regla 18	0.1617	&	0.8	&	0.3924	Then	0.1617
Regla 19	0.1617	&	0.2	&	0.6076	Then	0.1617

Regla 20	0.8383	&	0.8	&	0.6076	Then	0.6076
Regla 21	0.8383	&	0.2	&	0.6076	Then	0.2
Regla 22	0.1617	&	0.2	&	0.3924	Then	0.1617
Regla 23	0.8383	&	0.8	&	0.3924	Then	0.3924
Regla 24	0.8383	&	0.2	&	0.3924	Then	0.2

Tabla 16 - Grados de pertenencia a los conjuntos difusos para el modelo general.

Teniendo en cuenta los resultados de las reglas estimuladas y aplicando dichos grados de pertenencia en la salida del modelo difuso, se obtiene la siguiente área (proceso de desfuzzyficación):

Para reglas cuyo resultado es bueno:

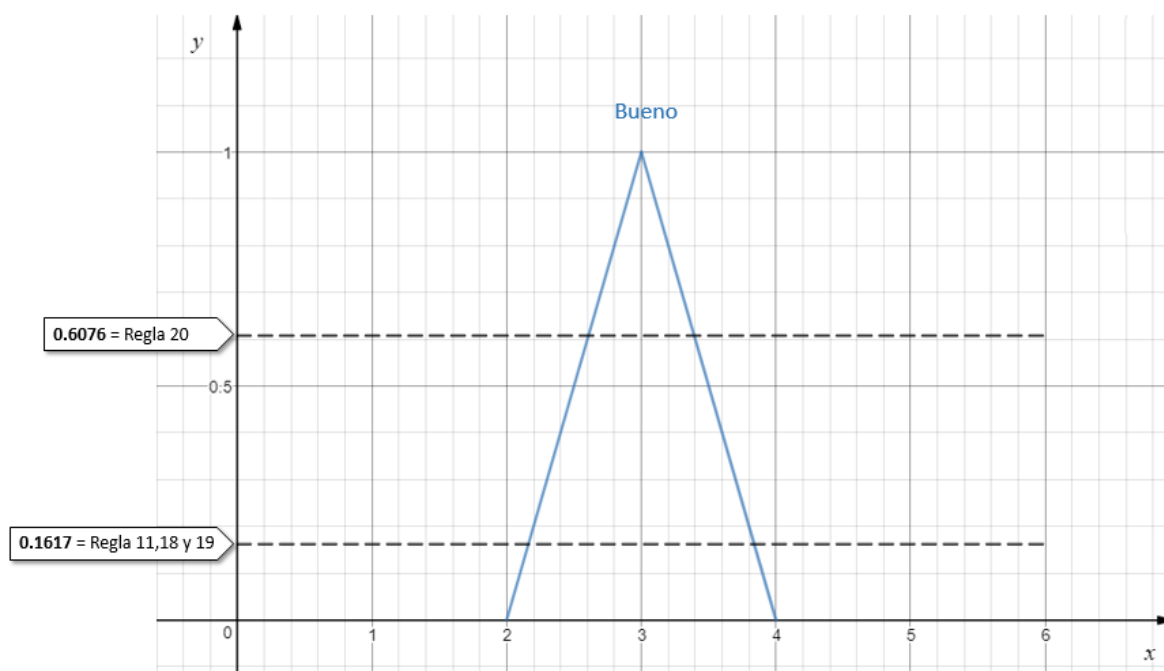


Ilustración 56 - Resultado de las reglas estimuladas para el modelo difuso general en la etiqueta lingüística “Bueno”.

Para las reglas cuyo resultado es Excelente:

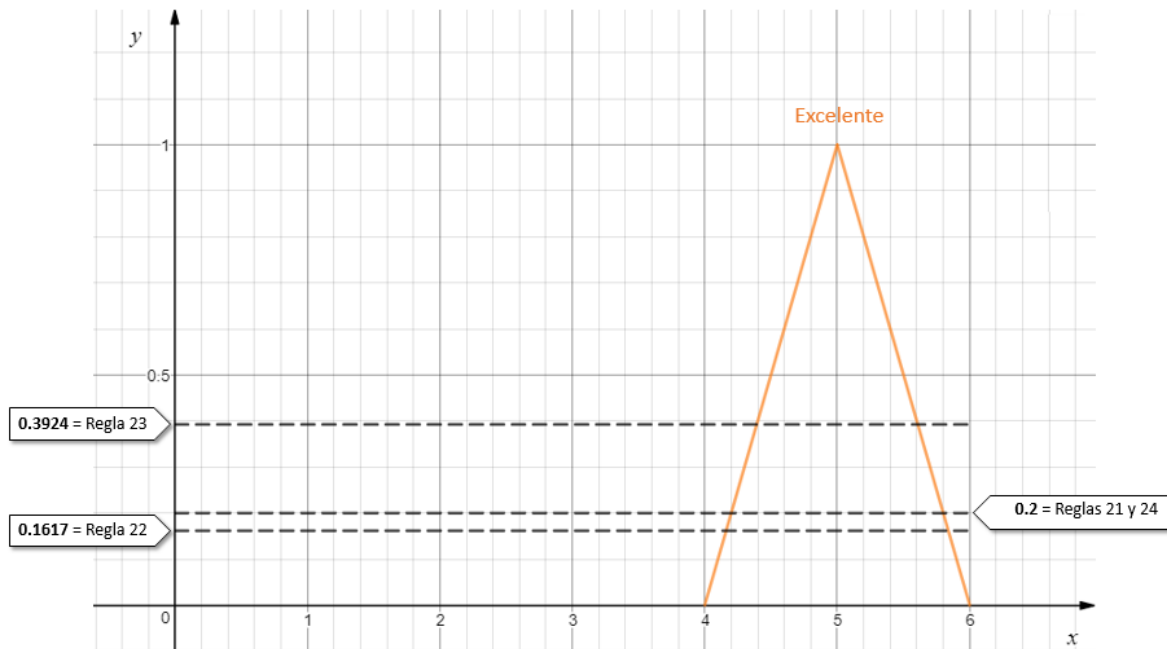


Ilustración 57 - Resultado de las reglas estimuladas para el modelo difuso general en la etiqueta lingüística “Excelente”.

Ahora se realiza la superposición de las gráficas estimuladas por las reglas obteniéndose un polígono final al que se le aplicará el método de desfuzzyficación Centroide obteniendo de esta manera el resultado de la evaluación por parte de los estudiantes.

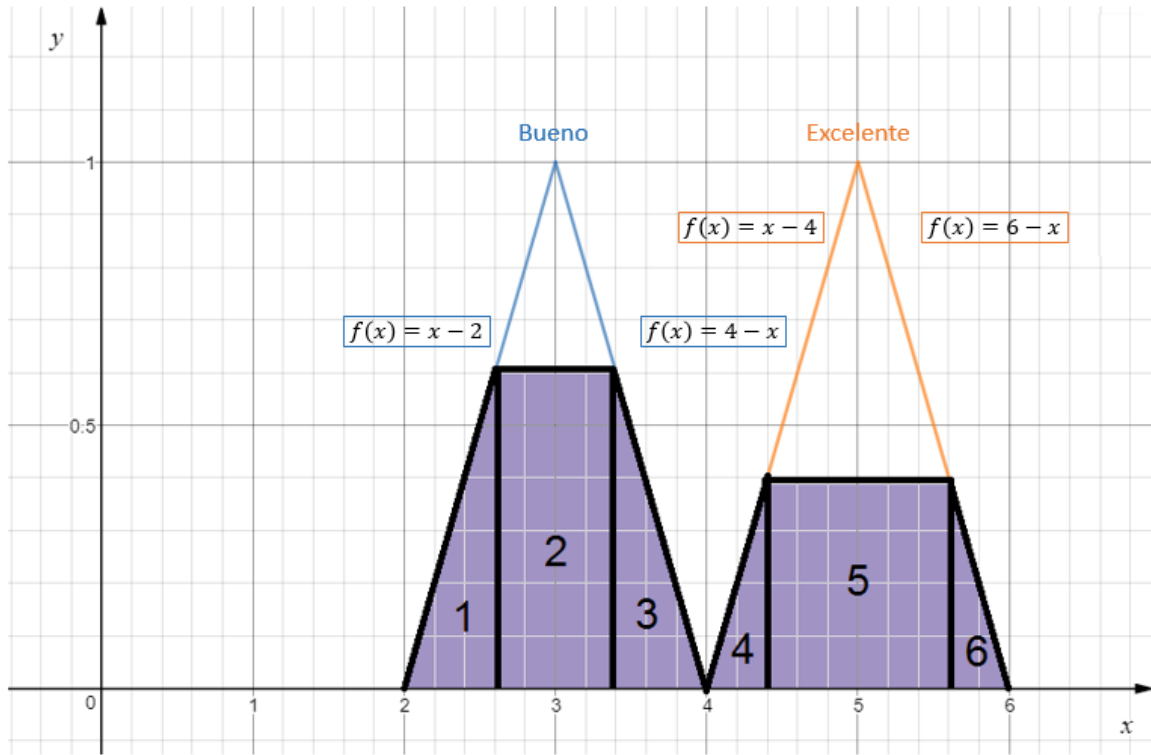


Ilustración 58 – Superposición de las gráficas resultantes en el modelo difuso general.

A partir de la ilustración anterior se procede a calcular de forma manual el centroide del polígono calculando el área y el centroide de cada una de las figuras que se muestran en la ilustración:

Calculo de las áreas 1 a 6:

- Área 1 = 0.1848
- Área 2 = 0.4764
- Área 3 = 0.1848
- Área 4 = 0.0769
- Área 5 = 0.4772
- Área 6 = 0.0769

Área total = 1.477

Calculo de centroide de las figuras 1 a 6:

Tomando la **ecuación 10** y aplicándola a la figura obtenida se tiene la siguiente operación

$$\bar{x} = \frac{\int_a^b \mu(x) * x dx}{A}$$

$$= \frac{\int_2^{2.608} (x-2) * x dx + \int_{2.608}^{3.392} (0.6067) * x dx + \int_{3.392}^4 (4-x) * x dx + \int_4^{4.392} (x-4) * x dx}{A}$$

$$+ \frac{\int_{4.392}^{5.608} (0.3924) * x dx + \int_{5.608}^6 (6-x) * x dx}{A}$$

$$\bar{x} = \frac{0.4446 + 1.4269 + 0.6644 + 0.3274 + 2.3858 + 0.4409}{1.477} = 3.8524$$

Por lo tanto, la calificación obtenida por el docente en la evaluación para el set de reglas 1 teniendo en cuenta todos los cuestionarios y el modelo general, es **3.8524**.

- Set de reglas número 2:

Seguidamente, se analizará el mismo sistema solamente que se modificará la base de conocimiento del modelo general a través de la interfaz del sistema. Las reglas configuradas para el modelo general se encuentran referenciadas en la tabla número 9. Para este análisis, no se modificaran las entradas de ninguno de los modelos, por lo tanto, las entradas para el modelo general serán las mismas que para el análisis anterior con el set de reglas número uno. Así pues, a continuación se evaluará solamente el modelo general con la nueva base de conocimiento:

Aspectos	Variable lingüística	Valores
Resultado de la calificación obtenida por la encuesta por parte de los estudiantes	EvaEstudiantes	4.5957
Resultado de la calificación obtenida por la encuesta por parte del jefe directo y los 2 profesores del área	EvaProfesorYJefe	3
Resultado de la calificación obtenida por la encuesta por parte consejo de facultad	EvaConsejo	3.481

Tabla 17 - Valores cuestionario modelo general set de reglas número 2.

A continuación se analizarán las reglas que son estimuladas en la fase de inferencia dentro del controlador difuso, según las entradas expuestas anteriormente para el modelo general.

Según el vector de entrada [4.5957; 3; 3.481] en el controlador, se estimulan las siguientes reglas:

Abreviaciones de variables lingüísticas:

- EvaEstudiantes: Estudiantes
- EvaProfesorYJefe: Profesores
- EvaConsejo: Consejo

Set 2. General	Estudiantes	op	Profesores	op	Consejo	op	Resultado
Entrada	4.5957		3		3.481		
Regla 11	Bue	&	Bue	&	Bue	Then	Bue
Regla 18	Exc	&	Exc	&	Exc	Then	Exc
Regla 19	Exc	&	Bue	&	Bue	Then	Exc
Regla 20	Bue	&	Exc	&	Bue	Then	Exc
Regla 21	Bue	&	Bue	&	Exc	Then	Exc

Tabla 18 - Estimulación de reglas para el modelo difuso general con la base de conocimiento del set de reglas número 2.

A continuación se analizan todas las reglas estimuladas para obtener el resultado para el modelo difuso:

Set 2. General	Estudiantes	op	Profesores	op	Consejo	op	Resultado
Entrada	4.5957		3		3.481		
Regla 11	0.1617	&	0.8	&	0.6076	Then	0.1617
Regla 18	0.8383	&	0.2	&	0.3924	Then	0.2
Regla 19	0.8383	&	0.8	&	0.6076	Then	0.6076
Regla 20	0.1617	&	0.2	&	0.6076	Then	0.1617
Regla 21	0.1617	&	0.8	&	0.3924	Then	0.1617

Tabla 19 - Grados de pertenencia a los conjuntos difusos para el modelo general con la base de conocimiento del set de reglas número 2.

Teniendo en cuenta los resultados de las reglas estimuladas y aplicando dichos grados de pertenencia en la salida del modelo difuso, se obtiene la siguiente área (proceso de desfuzzyficación):

Para reglas cuyo resultado es bueno:

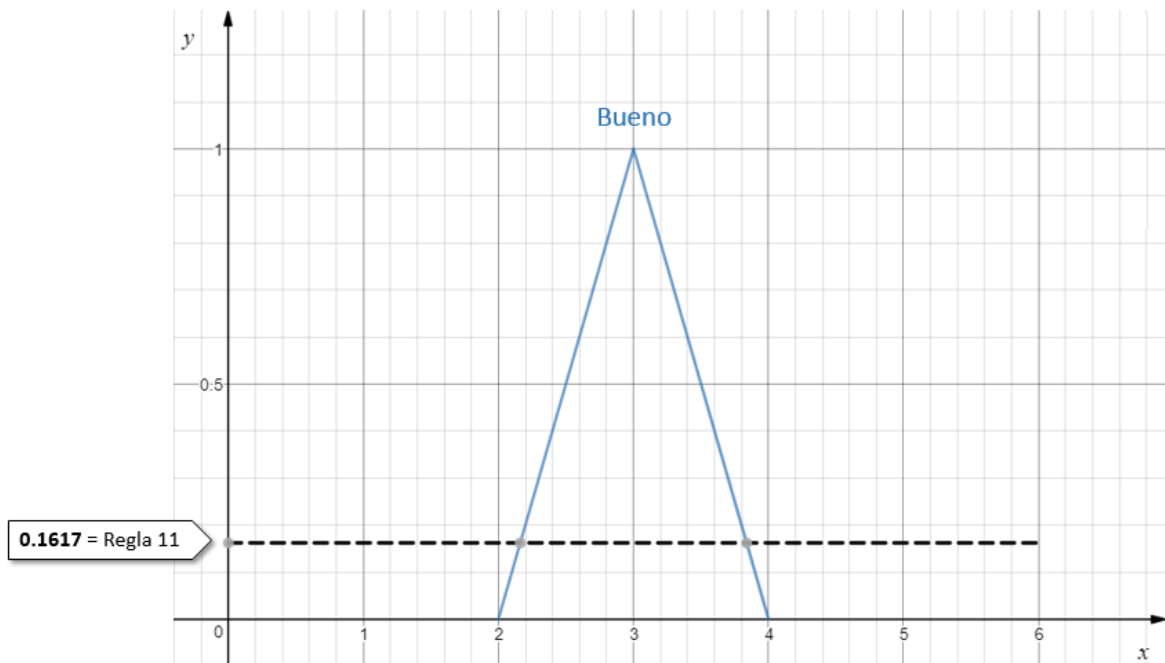


Ilustración 59 - Resultado de las reglas estimuladas para el modelo difuso general en la etiqueta lingüística "Bueno" con el set de reglas número 2.

Para las reglas cuyo resultado es Excelente:

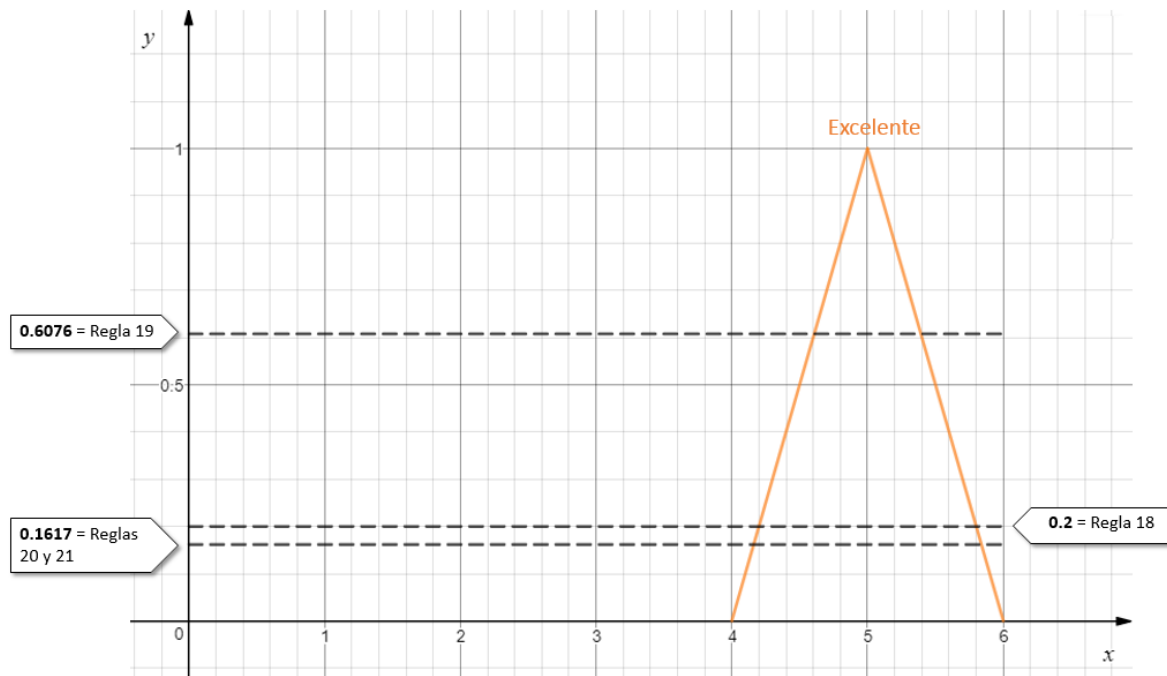


Ilustración 60 - Resultado de las reglas estimuladas para el modelo difuso general en la etiqueta lingüística “Excelente” con el set de reglas número 2.

Ahora se realiza la superposición de las gráficas estimuladas por las reglas obteniéndose un polígono final al que se le aplicará el método de desfuzzyficación Centroide obteniendo de esta manera el resultado de la evaluación por parte de los estudiantes.

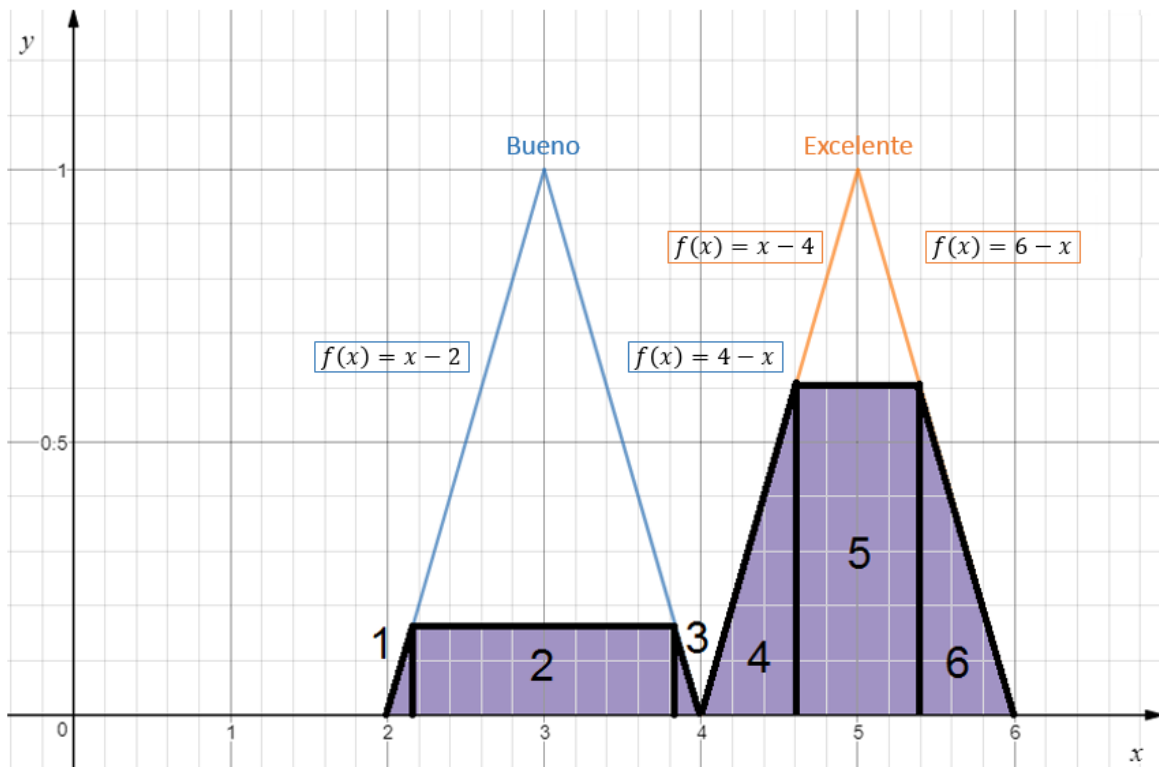


Ilustración 61 – Superposición de las gráficas resultantes en el modelo difuso general para el set de reglas número 2.

A partir de la ilustración anterior se procede a calcular de forma manual el centroide del polígono calculando el área y el centroide de cada una de las figuras que se muestran en la ilustración:

Calculo de las áreas 1 a 6:

- Área 1 = 0.0131
- Área 2 = 0.2710
- Área 3 = 0.0131
- Área 4 = 0.1846
- Área 5 = 0.4764
- Área 6 = 0.1846

Área total = 1.1428

Calculo de centroide de las figuras 1 a 6:

Tomando la **ecuación 10** y aplicándola a la figura obtenida se tiene la siguiente operación

$$\bar{x} = \frac{\int_a^b \mu(x) * x dx}{A}$$

$$= \frac{\int_2^{2.162} (x-2) * x dx + \int_{2.162}^{3.838} (0.1617) * x dx + \int_{3.838}^4 (4-x) * x dx + \int_4^{4.608} (x-4) * x dx}{A}$$

$$+ \frac{\int_{4.608}^{5.392} (0.6076) * x dx + \int_{5.392}^6 (6-x) * x dx}{A}$$

$$\bar{x} = \frac{0.0277 + 0.8130 + 0.0511 + 0.8142 + 2.3818 + 1.0341}{1.1428} = 4.4819$$

Por lo tanto, la calificación obtenida por el docente en la evaluación para el set de reglas 2 teniendo en cuenta todos los cuestionarios y el modelo general, es **4.4819**.

9.8. EVALUACIÓN Y ANALISIS DE RESULTADOS

Realizando el mismo proceso a través del sistema ingresando la información de evaluación en los diferentes formularios y obteniendo los diferentes resultados, finalmente son el insumo para la vista central con la cual se realizará la evaluación definitiva del docente. A continuación se muestran los resultados de la evaluación realizada con las mismas entradas en el sistema general pero simplemente cambiando la base de conocimiento:

The screenshot shows a software window titled "CalificacionGUI". Inside, there's a header "Sistema de evaluación docente". Below it, a section titled "Calificaciones" contains three rows of input fields with "Ingresar" buttons. The values shown are 4.5938, 3, and 3.467. A "Limpiar" button is at the bottom right of this section. Below "Calificaciones" are two more sections: "Base de conocimiento" with a "Configurar" button, and "Resultado" with an "Evaluar" button and a display showing "3.8459".

Ilustración 62 – Evaluación del docente con la base de conocimiento del set de reglas 1.

Ilustración 63 - Evaluación del docente con la base de conocimiento del set de reglas 2.

Para la evaluación con el set de reglas número uno se observa un valor de **3.8459** en la calificación docente. Dicho valor representa una calificación “Buena” para el docente ya que según las salidas del sistema, dicho valor no representa ningún grado de pertenencia a la etiqueta lingüística “Excelente”.

Comparando el resultado entregado por el sistema con el resultado obtenido de forma manual se encuentra que la diferencia es mínima. A continuación se muestran los resultados:

Valor entregado por el sistema	3.8459
Valor calculado de forma manual	3.8524

Tabla 20 – Resultados para el set de reglas número uno.

Ahora bien, teniendo en cuenta que simplemente para el set de reglas número dos se han cambiado las reglas del modelo general haciendo más laxas las condiciones para evaluar como excelente a un profesor según un criterio hipotético para una institución educativa, el resultado es de **4.479** teniendo las mismas entradas al sistema. Dicho valor representa una calificación de “Excelente” ya que dicho valor solamente tiene grado de pertenencia en esta etiqueta lingüística.

Comparando el resultado entregado por el sistema contra el resultado obtenido de forma manual se encuentra un resultado aceptable con una diferencia mínima. A continuación se muestran los resultados:

Valor entregado por el sistema	4.479
Valor calculado de forma manual	4.4819

Tabla 21 – Resultado set de reglas número dos.

10. CONCLUSIONES

Para el presente trabajo se encontró que la metodología utilizada por la Universidad Tecnológica de Pereira está en sintonía con la manera en la que se realiza el proceso de evaluación docente implementado por algunas universidades públicas de la región. Dicho proceso concuerda con los actores principales en la realización de la evaluación y la responsabilidad que se le otorga a cada uno de ellos es la indicada para obtener un resultado objetivo del desempeño del docente.

Adicionalmente, con la naturaleza del problema a abarcar, se construyó un modelo difuso “central” el cual es alimentado a su vez (sus entradas) por 3 sistemas difusos más especializados. Cada uno de estos representan los actores evaluadores del docente y cada uno de estos tiene una base de conocimiento independiente. De esta manera se permitió que el sistema sea modular y dichos módulos alimenten a un sistema central que también es difuso. De igual manera, cada uno de los 4 modelos definidos permite la modificación de su base de conocimiento otorgando la posibilidad de realizar cambios a la lógica de negocio cuando sea necesario.

Por lo tanto, se ha podido construir un sistema transparente e imparcial que permita adaptarse a los cambios de las necesidades de una institución y el cual no permita ser influenciado por las amistades o el favoritismo en el proceso de evaluación dando tranquilidad de que el proceso es íntegro y sólido.

En adición, la aplicación de la lógica difusa en el proceso de evaluación docente permite entregar un resultado sólido basado en una base de conocimiento construida por la experiencia de expertos en el área y permitiendo tener en cuenta las diferentes necesidades particulares de cada institución.

Finalmente, una vez analizados los resultados entregados por el sistema se puede aceptar la hipótesis inicial del proyecto en la cual se afirma que en efecto aplicando un modelo de lógica difusa que permita el cambio en cualquier momento de las reglas de su base de conocimiento se puede realizar la evaluación docente de instituciones de orden superior como la Universidad Tecnológica de Pereira.

11. RECOMENDACIONES

Se sugiere como próximos aportes para el trabajo realizado mejorar la manera como los datos son cargados al sistema. Sistematizando la evaluación realizada por el jefe inmediato y los dos profesores del área y la evaluación por parte del concejo de facultad se podría realizar una integración entre dichos cuestionarios y el presente sistema.

Adicionalmente, se podría plantear una entrada más al sistema (un módulo adicional) que permita conocer los datos de evaluaciones anteriores para tener en cuenta la evolución del desempeño del docente.

En adición, el proceso de evaluación debería tener en cuenta elementos como la producción intelectual (cantidad y calidad), el nivel de estudio y títulos que el profesor tenga además de su interés por seguir estudiando y adquirir nuevos conocimientos.


12. BIBLIOGRAFIA

- [1] COLOMBIA. Universidad Tecnológica de Pereira. Artículo 57 (Acuerdo número 014 del 6 de mayo de 1993). Estatuto docente de la UTP, evaluación docente. Pereira: UTP. 19 p.
- [2] COLOMBIA. Universidad Tecnológica de Pereira. Artículo 28. Estatuto general, de los consejos de facultad. Pereira: UTP. 25 p.
- [3] Martín del Brío, Bonifacio; Sanz Molina, Alfredo. Redes neuronales y sistemas borrosos. 3 ed. España: Ra-Ma Editorial, SA, 2006. 260 p.
- [4] TEJEDOR TEJEDOR, F. J. y GARCÍA VALCÁRCEL, A. “*Evaluación institucional en la Universidad*”. Revista Galega de Pisopedagogia.
- [5] MUÑOZ CANTERO, JESUS M.; RIOS DE DEUS, MARIA P.; ABALDE PAZ, EDUARDO. “*Evaluación docente Vs. Evaluación de la calidad*”. Disponible en internet en: http://www.uv.es/RELIEVE/v8n2/RELIEVEv8n2_4.htm
- [6] TRENT, J. W. y COHEN, A. (1973). “*A research on teaching in higher education*” en R. M. Travers (ed) Second Handbook of research on teaching, McNally, Chicago.
- [7] MARSH, H. W. y OVERALL, J. C. (1980). “*Validity of students evaluations of teaching effectiveness: cognitive and affective criteria*”. Journal of Educational Psychology.
- [8] MATEO, J. y otros (1995). La evaluación del profesorado de secundaria: la opinión del profesor. Proyecto de investigación del CIDE. Memoria Final. Barcelona.
- [9] Estatuto docente UTP.
- [10] Ministerio de educación nacional. “Evaluación anual de desempeño de docentes y directivos docentes”. [Fecha de consulta: 25 Junio 2017]. Disponible en internet en: <http://www.mineducacion.gov.co/1621/w3-article-246098.html>
- [11] Marta Elena Cifuentes Arango. Evaluación del profesor. [Fecha de consulta: 25 Junio 2017]. Disponible en internet en: <http://aprendeonline.udea.edu.co/lms/moodle/mod/forum/discuss.php?d=29814&parent=88896>
- [12] Estatuto docente universidad de Antioquia.
- [13] Consejo académico. Universidad Nacional de Colombia. “*Propuesta para la evaluación integral anual del personal docente de la Universidad Nacional de Colombia*”. Noviembre 8 de 2007.

- [14] Vicerrectoría académica. Universidad Nacional de Colombia. *"Evaluación docente integral con fines de mejoramiento"*. Bogotá, marzo de 2011.
- [15] Stanford Encyclopedia of Philosophy. Jan Lukasiewicz. [Fecha de consulta: 1 de Julio 2017]. Disponible en internet en: <https://plato.stanford.edu/entries/lukasiewicz/>
- [16] Pedro Ponce Cruz. Inteligencia artificial con aplicaciones a la ingeniería. Primera edición. Alfaomega Grupo Editorial, S.A. de C.V., Mexico.
- [17] Múnera, Luis Eduardo. Principios de inteligencia artificial y sistemas expertos.
- [18] Martín del Brío, Bonifacio; Sanz Molina, Alfredo. Redes neuronales y sistemas borrosos. 3 ed. España: Ra-Ma Editorial, SA, 2006.
- [19] S.N. Sivanandam, S. Sumathi, S.N. Deepa. Introduction to Fuzzy Logic using Matlab. Editorial Springer.
- [20] Palma Mendez, Jose Tomas; Marin Morales, Roque. Inteligencia artificial, tecnicas, metodos y aplicaciones. McGraw-Hill , 2008.
- [21] Escolano Ruiz, Francisco; Cazorla Quevedo, Miguel Angel; Alfonso Galiprenso, M^a Isable; Colomina Pardo, Otto; Lozano Ortega, Miguel Angel. Inteligencia artificial, modelos, técnicas y areas de aplicación. Thomson, editores Spain, 2003.
- [22] Bárcenas Cortés Luis Mario; Pérez Martínez César. Proyecto de grado: Diseño de un controlador difuso para un sistema péndulo invertido. México, D.F. Junio de 2009.
- [23] Inform Software corporation. FuzzyTech 5.5 user's Manual. [Fecha de consulta: 16 de Agosto 2017]. Disponible en internet en: <ftp://gamma.ttk.pt.hu/pub/pauler/SzakertRendsz/Session29/FuzzyTech55Manual.pdf>
- [24] Cingolani Pablo. JFuzzyLogic. [Fecha de consulta: 16 de Agosto 2017] Disponible en internet en: <http://jfuzzylogic.sourceforge.net/html/index.html>
- [25] MathWorks Inc. Fuzzy Logic Toolbox for use with Matlab. [Fecha de consulta: 17 de Agosto 2017]. Disponible en internet: http://faculty.petra.ac.id/resmana/private/matlab-help/pdf_doc/fuzzy/fuzzy_tb.pdf


11. ANEXOS

Anexo 1.



**Universidad
Tecnológica
de Pereira**

VICERRECTORÍA ACADÉMICA



Código	12 - P01
Versión	1
Fecha	10/07/2009
Página	1

**INSTRUMENTO PARA LA EVALUACIÓN DEL PROFESOR
POR PARTE DE LOS ESTUDIANTES**

Facultad: _____

Materia: _____

Nombre del profesor: _____

Programa: _____


Código: _____

Fecha: _____

Lea atentamente los aspectos a evaluar. Asigne a cada uno de ellos, marcando con una X, la calificación que según su criterio le corresponde al profesor, de acuerdo a las siguientes categorías:

	E. Excelente	S. Sobresaliente	B. Bueno	A. Aceptable	D. Deficiente	N. No aplicable(*)
COMPORTAMIENTO						
1. CAPACIDAD METODOLÓGICA PARA EL DESARROLLO DE LOS TEMAS	E	S	B	A	D	N
a) Propone actividades y/o experiencias que faciliten el aprendizaje autónomo de los estudiantes.						
b) Sus explicaciones permiten entender el tema tratado.						
c) Plantea los conceptos fundamentales del tema y estimula su reflexión.						
d) Asigna tareas y orienta actividades fuera de clase cuando la modalidad pedagógica lo permite						
e) Desarrolla los temas en forma actualizada y pertinente.						
2. MOTIVACIÓN, INTERÉS Y RELACIÓN CON LOS ESTUDIANTES	E	S	B	A	D	N
a) Se preocupa por entender lo que el estudiante hace y/o dice.						
b) Establece con el grupo una relación de trabajo en equipo.						
c) Inculca en el estudiante gusto y respeto por el saber que enseña.						
3. PUNTUALIDAD	E	S	B	A	D	N
a) Asistió el profesor a todas las clases.						
b) Llegó cumplido y terminó a tiempo las clases.						
c) Entregó oportunamente el plan de trabajo del semestre.						
d) Realizó las pruebas en las fechas previstas o las programó con suficiente anticipación para que Ud. pudiera reorganizar su plan de trabajo.						
e) Entregó las calificaciones y sus comentarios en el periodo que determina el reglamento.						
f) Cumplió los horarios de atención fijados para los estudiantes.						
EFFECTIVIDAD						
4. CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DEL CURSO Y PLAN DE TRABAJO	E	S	B	A	D	N
a) Cumplió a cabalidad con los objetivos y el plan de trabajo.						
b) Logró Ud. los objetivos de aprendizaje propuestos por el profesor en el programa.						
5. LOGROS EN EL PROCESO ENSEÑANZA - APRENDIZAJE	E	S	B	A	D	N
a) Interrelaciona la teoría y la práctica en el campo del saber que enseña.						
b) Trata los temas en forma organizada, sistemática y coherente.						
c) Estimula la creatividad del estudiante.						
d) Plantea en torno al saber cuestionamientos, preguntas y problemas para ser investigados.						
6. LOGROS OBTENIDOS EN LA ASIGNACIÓN DE TAREAS Y PROYECTOS	E	S	B	A	D	N
a) Revisa, comenta y orienta el trabajo individual y de grupo de los estudiantes.						
b) Guía la realización de trabajos extra-clase y la elaboración de tareas y proyectos.						
7. COHERENCIA ENTRE LA EVALUACIÓN Y LOS OBJETIVOS DEL CURSO	E	S	B	A	D	N
a) Las evaluaciones se realizaron de acuerdo con el plan de trabajo.						
b) Las evaluaciones guardan coherencia con los objetivos del curso.						
c) Las evaluaciones se refirieron a los contenidos, actividades y procedimientos tratados en el curso.						

Observaciones y Sugerencias: Al respaldo



Acreditada Institucionalmente de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional

NIT: 891.480.035-9 - Apartado Aéreo: 097 - Tel. Conmutador: (57) (6) 313 7300 - Fax: 321 3206

www.utp.edu.co - Pereira (Risaralda) Colombia

Anexo 1 - Cuestionario presentado a los estudiantes para la evaluación docente.

Anexo 2.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA VICERRECTORÍA ACADÉMICA

Instrumento para la evaluación del profesor por parte del Jefe Inmediato y 2 Profesores del Área

Para que la evaluación sea más objetiva, se recomienda que ésta la realice la sala de profesores, el área, la sección, escuela, departamento, o programa según lo establezca cada Consejo de Facultad

Facultad: _____ Programa: _____

Nombre del Profesor: _____ Categoría: _____

Actividad desempeñada (según Anexo No. 1 y plan de trabajo): _____

Fecha: _____

Los atentamente los aspectos a evaluar. Asigne a cada uno de ellos, marcando con una X, la calificación que según su criterio le corresponde al profesor, de acuerdo con las siguientes categorías:

E: Excelente S: Sobresaliente B: Bueno A: Aceptable D: Deficiente N: No aplicable

No tiene información

COMPORTAMIENTO		E	S	B	A	D	N
1. RELACIONES INTERPERSONALES							
a)	Trato con los colegas, estudiantes, y demás personas de la comunidad universitaria.						
b)	Establece relaciones de trabajo en equipo para adelantar propuestas que propendan por el fortalecimiento académico						
c)	Ablerto a la crítica y posibilita el diálogo.						
d)	Acepta el libre albedrío de las personas y respeta las diferencias de opinión.						
2. RESPONSABILIDAD EN SU TRABAJO ACADÉMICO							
a)	Colabora en la ejecución de las actividades asignadas y planificadas previamente.						
b)	Cumple los deberes consignados en el estatuto docente (artículo 70).						
3. PERTENENCIA INSTITUCIONAL							
a)	Identificación y compromiso con la Misión de la Universidad.						
b)	Participación en grupos académicos.						
4. PRESENTACIÓN DE PROPUESTAS							
a)	Presenta propuestas que propendan por el mejoramiento académico ante las diferentes instancias de la Universidad y ante organismos externos.						
EFFECTIVIDAD		E	S	B	A	D	N
5. PLANIFICACIÓN Y CUMPLIMIENTO DE SUS FUNCIONES ACADÉMICAS							
a)	Cumple responsablemente con sus funciones distribuyendo razonablemente su tiempo de acuerdo con el plan de actividades previsto por su facultad y el presentado por él mismo al inicio de cada período lectivo.						
6. PRODUCCIÓN ACADÉMICA							
a)	Libros, guías de laboratorio o clase, artículos para revistas u otros materiales impresos.						
b)	Diffunde su conocimiento a través de seminarios, conferencias, clubes de revistas, conciertos y otras formas diferentes a la tradicional clase magistral.						

Observaciones y sugerencias:

Anexo 2 - Cuestionario presentado al jefe inmediato y a dos profesores del área para la evaluación docente.

Anexo 3.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA VICERRECTORÍA ACADÉMICA

Instrumento para la evaluación del profesor por parte del Consejo de Facultad

Facultad: _____ Fecha: _____

Profesor evaluado: _____ Categoría: _____

Actividad desempeñada _____

Lea atentamente los aspectos a evaluar. Asigne a cada uno de ellos, marcando con una X la calificación que según su criterio le corresponde de acuerdo a la siguiente escala:

E. Excelente S. Sobresaliente B. Bueno A. Aceptable D. Deficiente N. No aplicable

C O M P O R T A M I E N T O	1. Nivel de participación en grupos de trabajo (consejos, comités, comisiones, otros).	E S B A D N
	2. Grado de pertinencia de sus propuestas y proyectos académicos para el desarrollo de su dependencia.	E S B A D N
	3. Participación en los eventos de carácter académico programados por la Universidad, Facultad, Departamento o Sección.	E S B A D N
	4. Informe de las actividades realizadas	E S B A D N
E F E C T I V I D A D	5. Cumplimiento del plan de trabajo.	E S B A D N
	6. Realización de las tareas que le fueron asignadas en razón de la naturaleza de su cargo y directamente relacionadas con la Misión de la Universidad.	E S B A D N

Observaciones y sugerencias:

Anexo 3 - Cuestionario presentado al consejo de facultad para la evaluación docente.

Anexo 4.

	Base de conocimiento para el “Modelo estudiantes”
1	Sí (Metodologia==Def) & (Interes==Def) & (Puntualidad==Def) => (Resultado=Def)
2	Sí (Metodologia==Def) & (Interes==Def) & (Cumplimiento==Def) => (Resultado=Def)
3	Sí (Metodologia==Def) & (Interes==Def) & (Proceso_enseñanza==Def) => (Resultado=Def)
4	Sí (Metodologia==Def) & (Interes==Def) & (Tareas_proyectos==Def) => (Resultado=Def)
5	Sí (Metodologia==Def) & (Interes==Def) & (Coherencia==Def) => (Resultado=Def)
6	Sí (Metodologia==Def) & (Puntualidad==Def) & (Cumplimiento==Def) => (Resultado=Def)
7	Sí (Metodologia==Def) & (Puntualidad==Def) & (Proceso_enseñanza==Def) => (Resultado=Def)
8	Sí (Metodologia==Def) & (Puntualidad==Def) & (Tareas_proyectos==Def) => (Resultado=Def)
9	Sí (Metodologia==Def) & (Puntualidad==Def) & (Coherencia==Def) => (Resultado=Def)
10	Sí (Metodologia==Def) & (Cumplimiento==Def) & (Proceso_enseñanza==Def) => (Resultado=Def)
11	Sí (Metodologia==Def) & (Cumplimiento==Def) & (Tareas_proyectos==Def) => (Resultado=Def)
12	Sí (Metodologia==Def) & (Cumplimiento==Def) & (Coherencia==Def) => (Resultado=Def)
13	Sí (Metodologia==Def) & (Proceso_enseñanza==Def) & (Tareas_proyectos==Def) => (Resultado=Def)
14	Sí (Metodologia==Def) & (Proceso_enseñanza==Def) & (Coherencia==Def) => (Resultado=Def)
15	Sí (Metodologia==Def) & (Tareas_proyectos==Def) & (Coherencia==Def) => (Resultado=Def)
16	Sí (Interes==Def) & (Puntualidad==Def) & (Cumplimiento==Def) => (Resultado=Def)
17	Sí (Interes==Def) & (Puntualidad==Def) & (Proceso_enseñanza==Def) => (Resultado=Def)
18	Sí (Interes==Def) & (Puntualidad==Def) & (Tareas_proyectos==Def) => (Resultado=Def)
19	Sí (Interes==Def) & (Puntualidad==Def) & (Coherencia==Def) => (Resultado=Def)
20	Sí (Interes==Def) & (Cumplimiento==Def) & (Proceso_enseñanza==Def) => (Resultado=Def)
21	Sí (Interes==Def) & (Cumplimiento==Def) & (Tareas_proyectos==Def) => (Resultado=Def)
22	Sí (Interes==Def) & (Cumplimiento==Def) & (Coherencia==Def) => (Resultado=Def)
23	Sí (Interes==Def) & (Proceso_enseñanza==Def) & (Tareas_proyectos==Def) => (Resultado=Def)
24	Sí (Interes==Def) & (Proceso_enseñanza==Def) & (Coherencia==Def) => (Resultado=Def)
25	Sí (Interes==Def) & (Tareas_proyectos==Def) & (Coherencia==Def) => (Resultado=Def)
26	Sí (Puntualidad==Def) & (Cumplimiento==Def) & (Proceso_enseñanza==Def) => (Resultado=Def)
27	Sí (Puntualidad==Def) & (Cumplimiento==Def) & (Tareas_proyectos==Def) => (Resultado=Def)
28	Sí (Puntualidad==Def) & (Cumplimiento==Def) & (Coherencia==Def) => (Resultado=Def)
29	Sí (Puntualidad==Def) & (Proceso_enseñanza==Def) & (Tareas_proyectos==Def) => (Resultado=Def)
30	Sí (Puntualidad==Def) & (Proceso_enseñanza==Def) & (Coherencia==Def) => (Resultado=Def)
31	Sí (Puntualidad==Def) & (Tareas_proyectos==Def) & (Coherencia==Def) => (Resultado=Def)
32	Sí (Cumplimiento==Def) & (Proceso_enseñanza==Def) & (Tareas_proyectos==Def) => (Resultado=Def)

[illegible]

[illegible]

[illegible]

89	Sí (Metodologia==Exc) & (Interes==Sob) & (Puntualidad==Exc) & (Cumplimiento==Exc) & (Proceso_enseñanza==Exc) & (Tareas_proyectos==Exc) & (Coherencia==Sob) => (Resultado=Exc)
90	Sí (Metodologia==Exc) & (Interes==Exc) & (Puntualidad==Sob) & (Cumplimiento==Sob) & (Proceso_enseñanza==Exc) & (Tareas_proyectos==Exc) & (Coherencia==Exc) => (Resultado=Exc)
91	Sí (Metodologia==Exc) & (Interes==Exc) & (Puntualidad==Sob) & (Cumplimiento==Exc) & (Proceso_enseñanza==Sob) & (Tareas_proyectos==Exc) & (Coherencia==Exc) => (Resultado=Exc)
92	Sí (Metodologia==Exc) & (Interes==Exc) & (Puntualidad==Sob) & (Cumplimiento==Exc) & (Proceso_enseñanza==Exc) & (Tareas_proyectos==Sob) & (Coherencia==Exc) => (Resultado=Exc)
93	Sí (Metodologia==Exc) & (Interes==Exc) & (Puntualidad==Sob) & (Cumplimiento==Exc) & (Proceso_enseñanza==Exc) & (Tareas_proyectos==Exc) & (Coherencia==Sob) => (Resultado=Exc)
94	Sí (Metodologia==Exc) & (Interes==Exc) & (Puntualidad==Exc) & (Cumplimiento==Sob) & (Proceso_enseñanza==Sob) & (Tareas_proyectos==Exc) & (Coherencia==Exc) => (Resultado=Exc)
95	Sí (Metodologia==Exc) & (Interes==Exc) & (Puntualidad==Exc) & (Cumplimiento==Sob) & (Proceso_enseñanza==Exc) & (Tareas_proyectos==Sob) & (Coherencia==Exc) => (Resultado=Exc)
96	Sí (Metodologia==Exc) & (Interes==Exc) & (Puntualidad==Exc) & (Cumplimiento==Sob) & (Proceso_enseñanza==Exc) & (Tareas_proyectos==Exc) & (Coherencia==Sob) => (Resultado=Exc)
97	Sí (Metodologia==Exc) & (Interes==Exc) & (Puntualidad==Exc) & (Cumplimiento==Exc) & (Proceso_enseñanza==Sob) & (Tareas_proyectos==Sob) & (Coherencia==Exc) => (Resultado=Exc)
98	Sí (Metodologia==Exc) & (Interes==Exc) & (Puntualidad==Exc) & (Cumplimiento==Exc) & (Proceso_enseñanza==Sob) & (Tareas_proyectos==Exc) & (Coherencia==Sob) => (Resultado=Exc)
99	Sí (Metodologia==Exc) & (Interes==Exc) & (Puntualidad==Exc) & (Cumplimiento==Exc) & (Proceso_enseñanza==Exc) & (Tareas_proyectos==Sob) & (Coherencia==Sob) => (Resultado=Exc)
100	Sí (Metodologia==Def) & (Interes==Def) & (Puntualidad==Def) & (Cumplimiento==Def) & (Proceso_enseñanza==Def) & (Tareas_proyectos==Def) & (Coherencia==Def) => (Resultado=Def)
101	Sí (Metodologia==Exc) & (Interes==Exc) & (Puntualidad==Exc) & (Cumplimiento==Exc) & (Proceso_enseñanza==Exc) & (Tareas_proyectos==Exc) & (Coherencia==Exc) => (Resultado=Exc)
102	Sí (Metodologia==Sob) & (Interes==Sob) & (Puntualidad==Sob) & (Cumplimiento==Sob) & (Proceso_enseñanza==Sob) & (Tareas_proyectos==Sob) & (Coherencia==Sob) => (Resultado=Bue)

Anexo 4 - Base de conocimiento para el modelo del sistema difuso “Modelo estudiantes”.

Anexo 5.

	Base de conocimiento para el “Modelo profesores”
1	Sí (Relaciones==Def) & (Responsabilidad==Def) & (Pertenencia==Def) => (Resultado=Def)
2	Sí (Relaciones==Def) & (Responsabilidad==Def) & (Propuestas==Def) => (Resultado=Def)
3	Sí (Relaciones==Def) & (Responsabilidad==Def) & (Cumplimiento==Def) => (Resultado=Def)
4	Sí (Relaciones==Def) & (Responsabilidad==Def) & (Produccion==Def) => (Resultado=Def)
5	Sí (Relaciones==Def) & (Pertenencia==Def) & (Propuestas==Def) => (Resultado=Def)
6	Sí (Relaciones==Def) & (Pertenencia==Def) & (Cumplimiento==Def) => (Resultado=Def)
7	Sí (Relaciones==Def) & (Pertenencia==Def) & (Produccion==Def) => (Resultado=Def)
8	Sí (Relaciones==Def) & (Propuestas==Def) & (Cumplimiento==Def) => (Resultado=Def)
9	Sí (Relaciones==Def) & (Propuestas==Def) & (Produccion==Def) => (Resultado=Def)
10	Sí (Relaciones==Def) & (Cumplimiento==Def) & (Produccion==Def) => (Resultado=Def)
11	Sí (Responsabilidad==Def) & (Pertenencia==Def) & (Propuestas==Def) => (Resultado=Def)
12	Sí (Responsabilidad==Def) & (Pertenencia==Def) & (Cumplimiento==Def) => (Resultado=Def)
13	Sí (Responsabilidad==Def) & (Pertenencia==Def) & (Produccion==Def) => (Resultado=Def)
14	Sí (Responsabilidad==Def) & (Propuestas==Def) & (Cumplimiento==Def) => (Resultado=Def)
15	Sí (Responsabilidad==Def) & (Propuestas==Def) & (Produccion==Def) => (Resultado=Def)
16	Sí (Responsabilidad==Def) & (Cumplimiento==Def) & (Produccion==Def) => (Resultado=Def)
17	Sí (Pertenencia==Def) & (Propuestas==Def) & (Cumplimiento==Def) => (Resultado=Def)
18	Sí (Pertenencia==Def) & (Propuestas==Def) & (Produccion==Def) => (Resultado=Def)
19	Sí (Pertenencia==Def) & (Cumplimiento==Def) & (Produccion==Def) => (Resultado=Def)
20	Sí (Propuestas==Def) & (Cumplimiento==Def) & (Produccion==Def) => (Resultado=Def)
21	Sí (Relaciones==Exc) & (Responsabilidad==Exc) & (Pertenencia==Exc) & (Propuestas==Exc) & (Cumplimiento==Exc) & (Produccion==Exc) => (Resultado=Exc)
22	Sí (Relaciones==Sob) & (Responsabilidad==Exc) & (Pertenencia==Exc) & (Propuestas==Exc) & (Cumplimiento==Exc) & (Produccion==Exc) => (Resultado=Exc)
23	Sí (Relaciones==Exc) & (Responsabilidad==Sob) & (Pertenencia==Exc) & (Propuestas==Exc) & (Cumplimiento==Exc) & (Produccion==Exc) => (Resultado=Exc)
24	Sí (Relaciones==Exc) & (Responsabilidad==Exc) & (Pertenencia==Sob) & (Propuestas==Exc) & (Cumplimiento==Exc) & (Produccion==Exc) => (Resultado=Exc)
25	Sí (Relaciones==Exc) & (Responsabilidad==Exc) & (Pertenencia==Exc) & (Propuestas==Sob) & (Cumplimiento==Exc) & (Produccion==Exc) => (Resultado=Exc)
26	Sí (Relaciones==Exc) & (Responsabilidad==Exc) & (Pertenencia==Exc) & (Propuestas==Exc) & (Cumplimiento==Sob) & (Produccion==Exc) => (Resultado=Exc)

[illegible]

47	Sí (Relaciones==Def) & (Responsabilidad==Exc) & (Pertenencia==Exc) & (Propuestas==Exc) & (Cumplimiento==Exc) & (Produccion==Def) => (Resultado=Bue)
48	Sí (Relaciones==Exc) & (Responsabilidad==Def) & (Pertenencia==Def) & (Propuestas==Exc) & (Cumplimiento==Exc) & (Produccion==Exc) => (Resultado=Bue)
49	Sí (Relaciones==Exc) & (Responsabilidad==Def) & (Pertenencia==Exc) & (Propuestas==Def) & (Cumplimiento==Exc) & (Produccion==Exc) => (Resultado=Bue)
50	Sí (Relaciones==Exc) & (Responsabilidad==Def) & (Pertenencia==Exc) & (Propuestas==Exc) & (Cumplimiento==Def) & (Produccion==Exc) => (Resultado=Bue)
51	Sí (Relaciones==Exc) & (Responsabilidad==Def) & (Pertenencia==Exc) & (Propuestas==Exc) & (Cumplimiento==Exc) & (Produccion==Def) => (Resultado=Bue)
52	Sí (Relaciones==Exc) & (Responsabilidad==Exc) & (Pertenencia==Def) & (Propuestas==Def) & (Cumplimiento==Exc) & (Produccion==Exc) => (Resultado=Bue)
53	Sí (Relaciones==Exc) & (Responsabilidad==Exc) & (Pertenencia==Def) & (Propuestas==Exc) & (Cumplimiento==Def) & (Produccion==Exc) => (Resultado=Bue)
54	Sí (Relaciones==Exc) & (Responsabilidad==Exc) & (Pertenencia==Def) & (Propuestas==Exc) & (Cumplimiento==Exc) & (Produccion==Def) => (Resultado=Bue)
55	Sí (Relaciones==Exc) & (Responsabilidad==Exc) & (Pertenencia==Exc) & (Propuestas==Def) & (Cumplimiento==Def) & (Produccion==Exc) => (Resultado=Bue)
56	Sí (Relaciones==Exc) & (Responsabilidad==Exc) & (Pertenencia==Exc) & (Propuestas==Def) & (Cumplimiento==Exc) & (Produccion==Def) => (Resultado=Bue)
57	Sí (Relaciones==Exc) & (Responsabilidad==Exc) & (Pertenencia==Exc) & (Propuestas==Exc) & (Cumplimiento==Def) & (Produccion==Def) => (Resultado=Bue)
58	Sí (Relaciones==Sob) & (Responsabilidad==Sob) & (Pertenencia==Sob) & (Propuestas==Sob) & (Cumplimiento==Sob) & (Produccion==Sob) => (Resultado=Bue)
59	Sí (Relaciones==Bue) & (Responsabilidad==Bue) & (Pertenencia==Bue) & (Propuestas==Bue) & (Cumplimiento==Bue) & (Produccion==Bue) => (Resultado=Bue)
60	Sí (Relaciones==Ace) & (Responsabilidad==Ace) & (Pertenencia==Ace) & (Propuestas==Ace) & (Cumplimiento==Ace) & (Produccion==Ace) => (Resultado=Bue)

Anexo 5 - Base de conocimiento para el modelo del sistema difuso “Modelo profesores”

Anexo 6.

Base de conocimiento para el “Modelo consejo”	
1	Sí (Participacion_grupos==Def) & (Pertinencia==Def) & (Participacion_eventos==Def) => (Resultado=Def)
2	Sí (Participacion_grupos==Def) & (Pertinencia==Def) & (Informes==Def) => (Resultado=Def)
3	Sí (Participacion_grupos==Def) & (Pertinencia==Def) & (Cumplimiento==Def) => (Resultado=Def)
4	Sí (Participacion_grupos==Def) & (Pertinencia==Def) & (Tareas_asignadas==Def) => (Resultado=Def)
5	Sí (Participacion_grupos==Def) & (Participacion_eventos==Def) & (Informes==Def) => (Resultado=Def)
6	Sí (Participacion_grupos==Def) & (Participacion_eventos==Def) & (Cumplimiento==Def) => (Resultado=Def)
7	Sí (Participacion_grupos==Def) & (Participacion_eventos==Def) & (Tareas_asignadas==Def) => (Resultado=Def)
8	Sí (Participacion_grupos==Def) & (Informes==Def) & (Cumplimiento==Def) => (Resultado=Def)
9	Sí (Participacion_grupos==Def) & (Informes==Def) & (Tareas_asignadas==Def) => (Resultado=Def)
10	Sí (Participacion_grupos==Def) & (Cumplimiento==Def) & (Tareas_asignadas==Def) => (Resultado=Def)
11	Sí (Pertinencia==Def) & (Participacion_eventos==Def) & (Informes==Def) => (Resultado=Def)
12	Sí (Pertinencia==Def) & (Participacion_eventos==Def) & (Cumplimiento==Def) => (Resultado=Def)
13	Sí (Pertinencia==Def) & (Participacion_eventos==Def) & (Tareas_asignadas==Def) => (Resultado=Def)
14	Sí (Pertinencia==Def) & (Informes==Def) & (Cumplimiento==Def) => (Resultado=Def)
15	Sí (Pertinencia==Def) & (Informes==Def) & (Tareas_asignadas==Def) => (Resultado=Def)
16	Sí (Pertinencia==Def) & (Cumplimiento==Def) & (Tareas_asignadas==Def) => (Resultado=Def)
17	Sí (Participacion_eventos==Def) & (Informes==Def) & (Cumplimiento==Def) => (Resultado=Def)
18	Sí (Participacion_eventos==Def) & (Informes==Def) & (Tareas_asignadas==Def) => (Resultado=Def)
19	Sí (Participacion_eventos==Def) & (Cumplimiento==Def) & (Tareas_asignadas==Def) => (Resultado=Def)
20	Sí (Informes==Def) & (Cumplimiento==Def) & (Tareas_asignadas==Def) => (Resultado=Def)

[illegible]

60

Sí (Participacion_grupos==Ace) & (Pertinencia==Ace) & (Participacion_eventos==Ace) & (Informes==Ace) & (Cumplimiento==Ace) & (Tareas_asignadas==Ace) => (Resultado=Bue)

Anexo 6 - Base de conocimiento para el modelo del sistema difuso “Modelo consejo”

Anexo 7.

	Base de conocimiento para el “Modelo general”
1	Sí (EvaEstudiantes==Def) & (EvaProfesorYJefe==Def) & (EvaConsejo==Def) => (Calificacion=Def)
2	Sí (EvaEstudiantes==Def) & (EvaProfesorYJefe==Def) & (EvaConsejo==Bue) => (Calificacion=Def)
3	Sí (EvaEstudiantes==Def) & (EvaProfesorYJefe==Def) & (EvaConsejo==Exc) => (Calificacion=Def)
4	Sí (EvaEstudiantes==Def) & (EvaProfesorYJefe==Bue) & (EvaConsejo==Def) => (Calificacion=Def)
5	Sí (EvaEstudiantes==Def) & (EvaProfesorYJefe==Exc) & (EvaConsejo==Def) => (Calificacion=Def)
6	Sí (EvaEstudiantes==Bue) & (EvaProfesorYJefe==Def) & (EvaConsejo==Def) => (Calificacion=Def)
7	Sí (EvaEstudiantes==Exc) & (EvaProfesorYJefe==Def) & (EvaConsejo==Def) => (Calificacion=Def)
8	Sí (EvaEstudiantes==Def) & (EvaProfesorYJefe==Bue) & (EvaConsejo==Bue) => (Calificacion=Bue)
9	Sí (EvaEstudiantes==Bue) & (EvaProfesorYJefe==Def) & (EvaConsejo==Bue) => (Calificacion=Bue)
10	Sí (EvaEstudiantes==Bue) & (EvaProfesorYJefe==Bue) & (EvaConsejo==Def) => (Calificacion=Bue)
11	Sí (EvaEstudiantes==Bue) & (EvaProfesorYJefe==Bue) & (EvaConsejo==Bue) => (Calificacion=Bue)
12	Sí (EvaEstudiantes==Def) & (EvaProfesorYJefe==Exc) & (EvaConsejo==Bue) => (Calificacion=Bue)
13	Sí (EvaEstudiantes==Def) & (EvaProfesorYJefe==Bue) & (EvaConsejo==Exc) => (Calificacion=Bue)
14	Sí (EvaEstudiantes==Exc) & (EvaProfesorYJefe==Bue) & (EvaConsejo==Def) => (Calificacion=Bue)
15	Sí (EvaEstudiantes==Bue) & (EvaProfesorYJefe==Exc) & (EvaConsejo==Def) => (Calificacion=Bue)
16	Sí (EvaEstudiantes==Exc) & (EvaProfesorYJefe==Def) & (EvaConsejo==Bue) => (Calificacion=Bue)
17	Sí (EvaEstudiantes==Bue) & (EvaProfesorYJefe==Def) & (EvaConsejo==Exc) => (Calificacion=Bue)
18	Sí (EvaEstudiantes==Bue) & (EvaProfesorYJefe==Bue) & (EvaConsejo==Exc) => (Calificacion=Bue)
19	Sí (EvaEstudiantes==Bue) & (EvaProfesorYJefe==Exc) & (EvaConsejo==Bue) => (Calificacion=Bue)
20	Sí (EvaEstudiantes==Exc) & (EvaProfesorYJefe==Bue) & (EvaConsejo==Bue) => (Calificacion=Bue)
21	Sí (EvaEstudiantes==Exc) & (EvaProfesorYJefe==Exc) & (EvaConsejo==Bue) => (Calificacion=Exc)
22	Sí (EvaEstudiantes==Bue) & (EvaProfesorYJefe==Exc) & (EvaConsejo==Exc) => (Calificacion=Exc)
23	Sí (EvaEstudiantes==Exc) & (EvaProfesorYJefe==Bue) & (EvaConsejo==Exc) => (Calificacion=Exc)
24	Sí (EvaEstudiantes==Exc) & (EvaProfesorYJefe==Exc) & (EvaConsejo==Exc) => (Calificacion=Exc)

Anexo 7 - Base de conocimiento para el modelo del sistema difuso “Modelo general”

Anexo 8.

	Base de conocimiento para el “Modelo general” set 2
1	Sí (EvaEstudiantes==Def) & (EvaProfesorYJefe==Def) & (EvaConsejo==Def) => (Calificacion=Def)
2	Sí (EvaEstudiantes==Def) & (EvaProfesorYJefe==Def) & (EvaConsejo==Bue) => (Calificacion=Def)
3	Sí (EvaEstudiantes==Def) & (EvaProfesorYJefe==Def) & (EvaConsejo==Exc) => (Calificacion=Def)
4	Sí (EvaEstudiantes==Def) & (EvaProfesorYJefe==Bue) & (EvaConsejo==Def) => (Calificacion=Def)
5	Sí (EvaEstudiantes==Def) & (EvaProfesorYJefe==Exc) & (EvaConsejo==Def) => (Calificacion=Def)
6	Sí (EvaEstudiantes==Bue) & (EvaProfesorYJefe==Def) & (EvaConsejo==Def) => (Calificacion=Def)
7	Sí (EvaEstudiantes==Exc) & (EvaProfesorYJefe==Def) & (EvaConsejo==Def) => (Calificacion=Def)
8	Sí (EvaEstudiantes==Def) & (EvaProfesorYJefe==Bue) & (EvaConsejo==Bue) => (Calificacion=Bue)
9	Sí (EvaEstudiantes==Bue) & (EvaProfesorYJefe==Def) & (EvaConsejo==Bue) => (Calificacion=Bue)
10	Sí (EvaEstudiantes==Bue) & (EvaProfesorYJefe==Bue) & (EvaConsejo==Def) => (Calificacion=Bue)
11	Sí (EvaEstudiantes==Bue) & (EvaProfesorYJefe==Bue) & (EvaConsejo==Bue) => (Calificacion=Bue)
12	Sí (EvaEstudiantes==Def) & (EvaProfesorYJefe==Exc) & (EvaConsejo==Bue) => (Calificacion=Bue)
13	Sí (EvaEstudiantes==Def) & (EvaProfesorYJefe==Bue) & (EvaConsejo==Exc) => (Calificacion=Bue)
14	Sí (EvaEstudiantes==Exc) & (EvaProfesorYJefe==Bue) & (EvaConsejo==Def) => (Calificacion=Bue)
15	Sí (EvaEstudiantes==Bue) & (EvaProfesorYJefe==Exc) & (EvaConsejo==Def) => (Calificacion=Bue)
16	Sí (EvaEstudiantes==Exc) & (EvaProfesorYJefe==Def) & (EvaConsejo==Bue) => (Calificacion=Bue)
17	Sí (EvaEstudiantes==Bue) & (EvaProfesorYJefe==Def) & (EvaConsejo==Exc) => (Calificacion=Bue)
18	Sí (EvaEstudiantes==Exc) & (EvaProfesorYJefe==Exc) & (EvaConsejo==Exc) => (Calificacion=Exc)
19	Sí (EvaEstudiantes==Exc) & (EvaProfesorYJefe==Bue) & (EvaConsejo==Bue) => (Calificacion=Exc)
20	Sí (EvaEstudiantes==Bue) & (EvaProfesorYJefe==Exc) & (EvaConsejo==Bue) => (Calificacion=Exc)
21	Sí (EvaEstudiantes==Bue) & (EvaProfesorYJefe==Bue) & (EvaConsejo==Exc) => (Calificacion=Exc)

Anexo 8 - Base de conocimiento para el modelo del sistema difuso “Modelo general” para el set 2 de reglas